

**МУНДАРИЧА**

**ЭНЕРГЕТИКА**

<b>С.Т. Қайюмов, Ф.Т. Миров.</b> Нақшаи дурнамои рушди системаи энергетикии Ҷумҳурии Тоҷикистон.....	7
<b>Х.Т. Касмамбетов.</b> НОБ – и хурд дар асоси генераторҳои асинхронӣ.....	13

**МЕТАЛЛУРГИЯ ВА МАСОЛЕҲШИНОСӢ**

<b>М.Н. Абдусаломов, С.А. Гадов.</b> Коркарди хидрометаллургии нимсӯхтаи сурма.....	21
<b>Т.Д. Джураев, Ф.К. Рахимов, Э.Р. Газизова, У.С. Джумаев.</b> Омӯхтани диаграммаҳои ҳолати секомпонентаи системаҳои иттербий – алюминий – калсий.....	27
<b>С.Ҷ. Иброҳимов, Н.Ф. Иброҳимов, Б.Б. Эшов.</b> Таъсири скандий ва лантан ба хосияти гармофизикии ҳӯлаи АМГ4.....	33

**ТЕХНОЛОГИЯҲОИ КИМИИӢВӢ**

<b>М. Чаманова, Тсюан Тзингжи, Ш.И. Мирзоев, А. Бадалов.</b> Қонуниятҳои тағирёбии тавсиртҳои термохимиявии интерметаллҳои таркиби $Al_{11}Ln_3$ ВА лантаноидҳо.....	38
<b>Ф.Нуриддини, Р.Д. Боев, П.Т. Салимова.</b> Геохимии дарёи варзоб дар Тоҷикистон.....	45

**НАҚЛИӢТ**

<b>О.Р. Нуманов, С.А. Шарифов, Д.Х. Худойқулов.</b> Сохтмони нақбҳои нақлиӢтии нав дар минтақаҳои заминларзаии ҷумҳурии Тоҷикистон.....	50
<b>А.С. Фохақов, Б.Т. Камолитдинов, А.С. Сайдалиев.</b> Асосҳои назариявии ташаккули ва рушди захираҳои потенциали бозори хизматрасонии нақлиӢтӣ дар шаҳри Душанбе.....	58
<b>С.В. Репин, О.К. Бобобеков, Д.А. Лутов</b> Таъмини самаранокии парки мошинҳои нақлиӢтию-технологӣ.....	66

**СОХТМОН ВА МЕЪМОРӢ**

<b>М.А. Сулайманова, Ф.Ю. Саидов</b> Хислати лаппишҳо ва ҷойивазкуниҳои биноҳои баланд аз таъсири қувваҳои сейсмикӣ.....	72
<b>И.И. Нигматов Ш.З. Усмонов.</b> Баланд бардоштани самаранокии энергетикии биноҳо ва таъмини шароити бароҳати он бо системаҳои фаъол ва ғайри фаъол.....	77
<b>Д.Н. Низомов, А.А. Ходжибоев, С.С. Зарифов, Б.Д. Фаттоев.</b> Методи муодилаҳои канорӣ дар ҳалли масъалаҳои механикаи сохтмон, ки ба муодилаи Пуассон оварда мешавад.....	82

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЭНЕРГЕТИКА

<b>С.Т. Кайюмов, Ф.Т. Миров.</b> Перспективный план развития энергосистемы Республики Таджикистан.....	7
<b>Х.Т. Касмамбетов.</b> Микро-ГЭС на основе асинхронных генераторов.....	13

### МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

<b>М.Н. Абдусалямова, С.А. Гадоев.</b> Гидрометаллургия переработки сурьмяных огарков.....	21
<b>Т.Д. Джураев, Ф.К. Рахимов, Э.Р. Газизова, У.С. Джумаев.</b> Изучение диаграммы состояния трёхкомпонентной системы иттербий-алюминий-кальций.....	27
<b>С.Ж. Иброхимов*, Б.Б. Эшов**, Н.Ф. Иброхимов*.</b> Влияния скандия и лантана на теплофизические свойства сплава АМг4.....	33

### ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

<b>М. Чаманова, Тсюан Тсзингжи, Ш.И. Мирзоев, А. Бадалов.</b> Закономерности изменения термохимических характеристик интерметаллидов состава $Al_{11}Ln_3$ и лантаноидов [Ln].....	38
<b>Ф.Нуриддини, Р.Д. Боев, П.Т. Салимова.</b> Геохимия реки варзоб в Таджикистане...	45

### ТРАНСПОРТ

<b>О.Р. Нуманов, С.А. Шарифов, Д.Х. Худойкулов.</b> Строительство новых транспортных тоннелей в Сейсмических районах Республики Таджикистан.....	50
<b>А.С. Фохаков, Б.Т. Камолидинов, А.С. Сайдалиев.</b> Теоретические основы формирования и развития ресурсного потенциала рынка транспортных услуг города Душанбе.....	58
<b>С.В. Репин, О.К. Бобобеков, Д.А. Лутов.</b> Обеспечение эффективности эксплуатации парка транспортно – технологических машин.....	66

### СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<b>М.А. Сулейманова, Ф.Ю. Саидов.</b> Влияние характера колебаний и перемещений от высоты зданий при воздействии сейсмических нагрузок.....	72
<b>И.И. Нигматов, Ш.З. Усмонов.</b> Повышение энергетической эффективности зданий и обеспечение комфортных условий в них посредством пассивных и активных систем.....	77
<b>Д.Н. Низомов, А.А. Ходжибоев, С.С. Зарифов, Б.Д. Фаттоев.</b> Метод граничных уравнений в решении задач строительной механики, сводящихся к уравнению Пуассона.....	82

## CONTENTS

### ENERGY

- S.T. Kayumov, F.T. Mirov.** Perspective plan for development of the energy system of the republic of Tajikistan..... 7
- Kasmambetov H.T.** Micro hydroelectric power station on the basis of asynchronous generators..... 13

### METALLURGY AND MATERIALS ENGINEERING

- M.N. Abdusalyamova, S.A. Gadoev.** Hydrometallurgy processing antimony cinders..... 21
- T.D. Djuraev, F.K. Rahimov, E.R. Gazizova, U.S. Jumayev.** A study of the diagrams of ternary systems ytterbium-aluminum-calcium..... 27
- S.Zh. Ibrokhimov, N.F. Ibrokhimov, B.B. Eshov.** Influences of scandium and lanthanum on heatphysical properties of AMg4 alloy..... 33

### CHEMICAL TECHNOLOGY

- M. Chamanova, Tsyuan Tszingzhi, Sh. I. Mirzoyev, A. Badalov.** Regularities of change of thermochemical characteristics intermetallidov structure of  $Al_{11}Ln_3$  I of lanthanides [Ln] ..... 38
- F.Nuriddini, R.D. Boev, P.T. Salimova.** Geochemistry of varzob river in Tajikistan..... 45

### TRANSPORTATION

- O.R. Numan, SA Sharifov, D.H. Khudoqulov.** Construction of new transport tunnel in seismic areas of the Republic of Tajikistan..... 50
- A.S. Fohakov, B.T. Kamolitdinov, A.S. Saidaliev.** Theoretical bases of formation and development of resource capacity of the market of transport services of the city of Dushanbe..... 58
- S.B.Repin, O.K.Bobobekov, D.A.Lutov.** Ensure effective operation of transportation - technological machinery..... 66

### CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

- M.A. Suleymanova, F.U. Saidov** Effect of the nature of vibrations and movements of height of buildings under the influence of seismic loads..... 72
- I.I.Nigmatov, Sh.Z.Usmonov.** Increase energy efficiency of buildings and enforcement comfortable conditions in them through passive and active systems..... 77
- D.N. Nizomov, A.A. Hojiboev, S.S. Zarifov, B.D. Fattoev.** The method of boundary elements for solution of structural mechanics problem reduce to the poisson equation..... 82

**С.Т. Кайюмов, Ф.Т. Миров**

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПЛАН РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

*В данной статье основное внимание уделяется перспективному плану развития энергосистемы Республики Таджикистан.*

*Также в этой статье отводится особое значение активному выходу энергетики Таджикистана на внешний рынок. С учетом оптимизации структуры потребления электроэнергии и ввода новых мощностей.*

**Ключевые слова:** электроэнергетика, гидроэлектростанция, теплоэлектроцентраль, линия электропередач, дефицит электроэнергии, инвестиционные проекты.

Программа среднесрочного развития Республики Таджикистан на период 2016-2020 годы [далее ПСР 2016-2020], которая разработана Министерством экономического развития и торговли, находится на рассмотрении Правительства, и в которой определены цели, приоритеты, задачи и направления действий для перехода на модель нового качественного экономического роста, где основу составляют эффективные институциональные механизмы, позволяющие привлекать больше инвестиций в реальный сектор экономики и инфраструктуру; стимулировать конкуренцию и приобретение новых знаний; расширять производство товаров и услуг, ориентированных на экспорт и обеспечивающих импортозамещение; целенаправленно снижать зависимость страны от денежных переводов трудовых мигрантов и содействовать расширению продуктивной занятости населения.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнение ряда задач, в их числе поддержание устойчивых и высоких темпов экономического роста и его нового качества на основе ускоренного развития профессиональных навыков, знаний и технологий; модернизация и диверсификация хозяйственной деятельности; формирование динамичной системы государственного и местного развития; сокращение уязвимости перед внешними факторами.

Основными правовыми документами, которые легли в основу разработки ПСР 2016-2020, являются: Конституция Республики Таджикистан, Закон Республики Таджикистан «О государственных прогнозах, концепциях, стратегиях и программах социально-экономического развития Республики Таджикистан», Стратегия национального развития Республики Таджикистан на период до 2030 года, долгосрочные цели и приоритеты развития страны, определенные Президентом страны в Посланиях Маджлиси Оли Республики Таджикистан в 2014-2016 годы.

В данном стратегическом документе особое значение отводится активному выходу энергетики Таджикистана на внешний рынок. С учетом оптимизации структуры потребления электроэнергии и ввода новых мощностей, экспортный потенциал в республике к концу периода может достичь величины 7,5-8 млрд.кВт.ч. в летний период и 2-2,5 млрд.кВт.ч. в зимний период.

Прогноз экспорта электроэнергии в период до 2025 года

Годы	Экспорт электроэнергии, млрд.кВт.ч.	Экспортный тариф с учетом среднего международного тарифа, в долларах США	Доход от экспорта электроэнергии, в млн. долларах США
2010	2,5	0,05	125
2015	8,0	0,05	400
2020	13,5	0,05	675
2025	18,5	0,05	925

Основной целью разрабатываемого плана является обозначение основных направлений и этапов, эффективного функционирования и устойчивого долговременного развития отрасли в период с 2012 по 2016 годы. Стержневым моментом данного этапа должны быть разработка и реализация мероприятий по обеспечению энергетической безопасности страны в краткосрочный период. Согласно данному плану должны быть также выполнены в проектные сроки основные работы по завершению начатых мероприятий по реабилитации, реконструкции, модернизации и строительству объектов электроэнергетики.

План Развития генерирующих мощностей на период 2012-2018 г.г.

№	Наименование	Мощность, МВт	Выработка, млрд.кВт.ч.	Год ввода
1.	Сангтудинская ГЭС-2	220	0,97	2012
2.	I-очередь Рогунской ГЭС	1200	5,6	2018
3.	Душанбинская ТЭЦ-2	400	1,45	2016
<b>Всего:</b>		<b>1820</b>	<b>8,02</b>	
Выработка в осенне-зимний период			3,53	2015
Выработка в летний период			4,49	2015

В настоящее время дефицит электроэнергии в осенне-зимнем периодах в Республике Таджикистан составляет около 1,2÷1,5 млрд.кВт.ч., который необходимо компенсировать снижением нерационального потребления электроэнергии. Излишняя летняя электроэнергия будет экспортироваться в Афганистан, в основном по двухцепной ЛЭП-220 кВ «Сангтуда – Пули Хумри» [ввод 2011 г.] и в перспективе по линии ЛЭП-500 кВ в Пакистан по проекту CASA-1000 [2016 г.].

В краткосрочный период необходимо продолжение реализации строительства малых ГЭС, в основном за счет централизованных капвложений и привлечения инвестиций. С учетом их массового строительства также потребуются организация в республике собственного промышленного производства гидротехнического и электротехнического оборудования для комплектации установок МГЭС, а также их сервисного технического обслуживания.

Перспективный план развития энергосистемы Республики Таджикистан с учётом ввода новых энергетических объектов в эксплуатацию на период 2012 – 2016 годы

№	Наименование мероприятий	Начало работ	Окончание работ	Источник финансирования
1	Строительство КРУЭ-500 и 220 кВ «Оби Гарм» с учетом установки двух групп АТ мощностью 2х[3х167МВА]	2012	2014	Проект Реконструкции сетей 500 кВ Районов республиканского подчинения
2	Строительство ЛЭП-500 кВ от ПС «Оби Гарм» до ПС «Душанбе-500» [две линии]	2012	2014	
3	Строительство двухцепной ЛЭП-220 кВ от ПС «Оби Гарм» до существующей ПС «Рогун-220»	2012	2014	Проект Реконструкции сетей 500 кВ Районов республиканского подчинения
4	Строительство КРУЭ-500 кВ «Сангтудинская ГЭС-1» с установкой двух групп автотрансформаторов мощностью 2х[3х167МВА]	2014	2016	
5	Строительство ЛЭП-500 кВ от ПС «Оби Гарм» до КРУЭ-500 кВ «Сангтудинская ГЭС-1»	2014	2016	
6	Строительство ЛЭП-500 кВ от ПС «Регар-500» до проектной КРУЭ-500 кВ «Сангтудинской ГЭС-1»	2013	2016	Проект CASA-1000
7	Реализация проекта «Передача и торговля электроэнергией Средняя Азия - Южная Азия» CASA-1000 [Таджикистан - Афганистан - Пакистан]	2010	2016	Проект CASA-1000

8	Строительство ЛЭП-220 кВ «Герань - Руми» с учетом реконструкции ПС «Герань» и «Руми»	2012	2014	Проект АБР
9	Строительство ЛЭП-220 кВ «Кайраккумская ГЭС - Ашт» с реконструкцией ОРУ-220 кВ «Кайраккумская ГЭС»	2012	2014	Проект АБР
10	Строительство Душанбинский ТЭЦ-2 мощностью 400 МВт в городе Душанбе	2011	2014	Проект ТВЕА КНР
11	Строительство две ЛЭП-220 кВ от ПС «Душанбе» до проектной «ДТЭЦ-2»	2012	2014	Проект ТВЕА КНР
12	Строительство две ЛЭП-110 кВ от проектной «ДТЭЦ-2» до ПС «Карамова»	2012	2014	Проект ТВЕА КНР
13	ПС 220/110/35/10 кВ «Шахринау» с двумя трансформаторами мощностью по 125 МВА	2008	2015	ОАХК «Барки Точик»
14	Строительство ЛЭП-220 кВ «Айни-Рудаки»	2008	2015	Иностранные инвестиции

Основные параметры перспективных объектов с учетом необходимых объемов работ.

1. Строительство КРУЭ-500 и 220 кВ «Оби Гарм» с учетом установки двух групп автотрансформаторов мощностью 2х[3х167МВА]:

1.1. Строительство КРУЭ-500 кВ с учетом 13 присоединений, из них:

- 6 - вводов гидрогенераторов;
- 2 - отходящие ЛЭП-500 кВ в сторону ПС «Душанбе»;
- 1 - отходящая ЛЭП-500 кВ в сторону ПС «Сангтуда-1»;
- 1 – отходящая ЛЭП-500 кВ в сторону Севера РТ;
- 1 - отходящая ЛЭП-500 кВ в сторону Юга РТ [резервная];
- 2 - ввода автотрансформаторов 500/220 кВ.

1.2. Строительство КРУЭ-220 кВ с учетом 8 ячеек 220 кВ из них:

- 2 - ввода автотрансформаторов;
- 2-отходящие ЛЭП-220 кВ «Оби Гарм – Рогун-220»;
- 2 - резервные ячейки;
- 2 ячейки [ШСВ и ОВ].

1.3. Установка двух групп однофазных автотрансформаторов 500/220/35 кВ мощностью 2х[3х167 МВА].

2. Строительство ЛЭП-500 кВ от ПС «Оби Гарм» до ПС «Душанбе-500»:

- Предназначена для выдачи мощности пускового комплекса Рогунской ГЭС в энергосистеме.

- протяженность линии – 100 км;

- марка и сечение провода – АС-400 [расщепленная, 3 провода на фазе];

- количество цепей – две отдельные линии.

Для подключения данных линий к ПС «Душанбе» требуется установка дополнительных ячеек на ОРУ-500 кВ по аналогу существующих оборудований.

3. Строительство КРУЭ-500 кВ «Сангтудинская ГЭС-1» с установкой двух групп автотрансформаторов мощностью 2х[3х167МВА]:

3.1. Строительство КРУЭ-500 кВ на территории Сангтудинской ГЭС-1 с учетом 6 присоединений, из них:

- 1 присоединение для ЛЭП-500 кВ «Оби Гарм – Сангтуда-1»;

- 1 присоединение для ЛЭП-500 кВ «Регар – Сангтуда-1»;

- 1 присоединение для реализации проекта CASA-1000.

4. Реализация проекта CASA-1000 [Передача и торговля электроэнергией Средняя Азия – Южная Азия], в т.ч.:

- Строительство ЛЭП-500 кВ от ПС «Регар-500» проводом сечением 3хАС-400 протяженностью 115 км;

- Строительство КРУЭ-500 кВ на территории Сангтудинской ГЭС-1;

- Строительство конверторной станции с преобразованием переменного тока на постоянный ток.

5. Строительство ЛЭП-220 кВ «Герань - Руми» с учетом реконструкции ПС «Герань» и ПС «Руми».

5.1. Строительство новой ОРУ-220 кВ по схеме «Две рабочие системы шин с обходной» с учетом 10 ячеек, из них:

- 4 ячейки для заход-выхода ЛЭП-220 кВ «Таджикистан - Афганистан»;

- 2 ячейки ввода автотрансформаторов;

- 1 ячейка для переключения линии Л-КГр;

- 1 ячейка для подключения проектной линии «Герань - Руми»;

5.2. Реконструкция ОРУ-220 кВ ПС «Руми» с установкой двух линейных ячеек 220 кВ и заменой ОД с КЗ на выключателей элегазового типа.

Реализация вышеприведенных проектов позволит на краткосрочном этапе поднять развитие электроэнергетической отрасли на новый уровень и сформировать основу развития регионального рынка электроэнергетики.

Правительством Республики Таджикистан поэтапно принимаются и другие меры, направленные на эффективное использование имеющегося гидроэнергетического потенциала, а также обеспечение энергетической безопасности и обеспеченности во всей стране.

## Литература

1. Оперативное управление в энергосистемах/ Е. В. Калентионок, В. Г. Прокопенко, В. Т. Федин. — Минск: Высшая школа, 2007.
2. М. И. Кузнецов. Основы электротехники. — Москва: Высшая школа, 1964.
3. Е.В. Аметистова. Основы современной энергетики. В 2-х томах. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2008. — ISBN 978 5 383 00163 9.
4. Липатов Ю. Производство электросетевого оборудования: модернизация, инвестиции, инновации // Энергорынок. Февраль 2010 г. № 02 [74].

**С.Т. Қайюмов, Ф.Т. Миров**

### **НАҚШАИ ДУРНАМОИ РУШДИ СИСТЕМАИ ЭНЕРГЕТИКИИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН**

Дар ин мақола муаллифон диқати асосиро ба нақшаи дурнамои рушди системаи энергетикаи Ҷумҳурии Тоҷикистон равона кардаанд.

Инчунин дар ин мақола аҳамияти махсус ба баромадани энергетикаи Ҷумҳурии Тоҷикистон ба бозори хориҷӣ дода мешавад. Бо ин мақсад беҳтар намудани моделҳои истеъмолии энергия ва қорӣ намудани иқтидорҳои нав лозим аст.

**Калидвожаҳо:** электроэнергетика, неругоҳи барқӣ оби, шабакаи барқӣ гармдихӣ, хатти интиқоли барқ, норасоии барқ, лоихаҳои сармоягузорӣ.

**S.T. Kayumov, F.T. Mirov**

### **PERSPECTIVE PLAN FOR DEVELOPMENT OF THE ENERGY SYSTEM OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN**

This article focuses on, perspective plan for development of the energy system of the Republic of Tajikistan.

Also in this article is given special importance to the attention output power of Tajikistan to foreign market. According to it improve energy consumption and introduction of new capacity.

**Key words:** power, hydroelectric power, combined heat and power, power line, electricity shortage, investment projects.

### **Сведения об авторах**

**С.Т. Кайюмов** - кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Экономика и управление производством» Таджикского технического университета им. академика М.С.Осими 734042. Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. акад. Раджабовых, 10а, Тел. **900-24-00-55**; e-mail: [kayumov\\_s.t@mail.ru](mailto:kayumov_s.t@mail.ru)

**Ф.Т. Миров** - ассистент кафедры «Экономика и управление в производством», Таджикского технического университета им. академика М.С.Осими, 734042. Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. акад. Раджабовых, 10а, Тел. **934-14-21-11**; e-mail: [Mirov-Fed@yandex.ru](mailto:Mirov-Fed@yandex.ru)

Х.Т. Касмамбетов

## МИКРО-ГЭС НА ОСНОВЕ АСИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

*В данной статье рассматривается работа асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в режиме генератора. А также влияние емкости возбуждающих конденсаторов*

**Ключевые слова:** Микро ГЭС, самовозбуждение, асинхронный генератор, конденсатор, реактивная мощность, нагрузка.

Стоимость микро-ГЭС может быть снижена за счет установки асинхронных генераторов с самовозбуждением.

Асинхронные генераторы по сравнению с синхронными имеют меньший переходной реактанс [0.1 против 0.3], что благоприятно при запуске однофазной или трехфазной двигательной нагрузки. Асинхронные машины с короткозамкнутой обмоткой ротора имеют широкое распространение, большой выбор мощностей и частот вращения, в режиме работы генератора с самовозбуждением они могут работать на несимметричной нагрузке без генерации гармоник напряжения.[8]

Проблемы применения асинхронных генераторов связаны с обеспечением их самовозбуждения, возможностью регулирования напряжения и регулирования частоты. Типовое оборудование, необходимое для работы агрегата с асинхронным генератором, включает первичный двигатель [турбину], асинхронную машину с к.з. обмоткой ротора, схему уравнивания по фазам, статический возбудитель [батарея конденсаторов] и регулятор нагрузки. [9;13]

Известно, явление самовозбуждения асинхронного генератора стало широко использоваться только в связи с развитием статических схем компенсации реактивной мощности. [2;4;14] Асинхронная машина не может при работе с генератором вырабатывать реактивную мощность, необходимую для поддержания электромагнитного поля. Поэтому при автономной работе асинхронной машины в качестве генератора, необходимо предусмотреть источник реактивной мощности, который поддерживал бы магнитное поле машины. В качестве такого источника можно использовать конденсаторы, инверторы, емкости и другие устройства. [5;6]

На рис.1 приведена схема, в которой в качестве источника реактивной мощности используются конденсаторы.

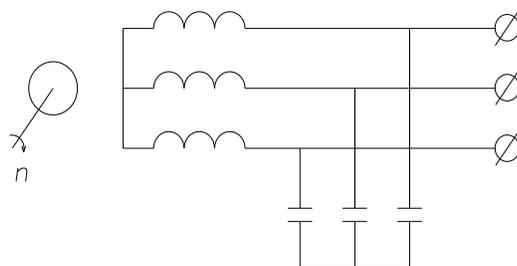


Рисунок 1 - Принципиальная схема включения возбуждающих конденсаторов.

При вращении машины под действием остаточного магнитного потока  $\Phi_{ост}$ , не равного нулю, на клеммах статорной обмотки появится Э.Д.С., которая будет зависеть от обмоточных данных, величины потока и скорости вращения. При синусоидальном распределении индукции в зазоре Э.Д.С. будет равна

$$E_{ост} = 4,44 \Phi_{ост} k f$$

Остаточная Э.Д.С. вызовет ток, протекающий по цепи "емкость-обмотка статора". Этот ток в свою очередь вызовет увеличение магнитного потока и как следствие, увеличение Э.Д.С. и т.д. Процесс увеличения Э.Д.С. будет продолжаться до тех пор, пока последняя не достигнет установившегося значения.

Реактивная мощность, протекающая через емкость и соответственно через машину, будет равна [7;10;12]

$$Q = U I_p = [U / X_c] U = U^2 / X_c = U^2 / [1/\omega C] = \omega C U^2 = 2\pi f C U^2$$

где  $f$ - частота тока, протекающего через емкость. Из этого выражения можно видеть:

- а) величина емкости при равных реактивных мощностях обратно пропорциональна частоте;
- б) величина емкости при равных реактивных мощностях обратно пропорциональна квадрату напряжения.

Анализируя это простое выражение можно сделать вывод: для получения одинаковой реактивной мощности выгодно повышать напряжение на емкости, при этом величина емкости будет уменьшаться обратно пропорционально квадрату приложенного напряжения. Для того, чтобы повысить напряжение, можно применить повышающие трансформаторы. Схема включения может быть как "звезда", так и "треугольник", [1;3;11] но предпочтительнее принимать "треугольник", так как при такой схеме на емкости подается линейное напряжение. Как известно, линейное напряжение в  $\sqrt{3}$  больше фазного, поэтому величина емкости уменьшится в  $[\sqrt{3}]^2$  раза. Трансформаторы можно применять как однофазные, так и трехфазные.

Для обеспечения надежного самовозбуждения необходимо иметь [см. рис.2] не три точки пересечения, а одну, в области точки "С". Точка "В" является неустойчивой точкой работы, точка "А" устойчивая, но при напряжении, значительно меньше номинального. Получить единственную устойчивую точку работы машины возможно следующим путем:

- 1] Обеспечить остаточный поток в железе больше, чем соответствующий магнитный поток, создающий  $E_b$ .
- 2] Повысить обороты таким образом, чтобы осталась единственная точка пересечения [точка "С2"].
- 3] Увеличить величину емкости, чтобы получить опять же единственную точку "С3".

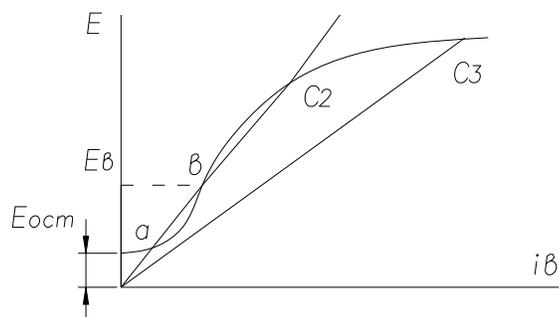


Рисунок 2 - Фактическая форма кривой характеристики холостого хода.

#### Описания испытательной установки

Испытательный стенд состоит из асинхронного двигателя, двигателя постоянного тока, батареи конденсаторов, устройств питания, контролирующих аппаратов, измерительных приборов. Схема принципиальная электрическая прилагается на рис. 3.

Двигатель постоянного тока питается через автотрансформатор Тр.1 и двухполупериодный выпрямитель [Д1 - Д4]. В якорной цепи и цепи обмотки возбуждения стоят контролирующие приборы РА1.РА2, РVI. Выключатель SI служит для подачи напряжения на устройство питания двигателя постоянного тока. Резистор RI, включенный в цепь обмотки возбуждения, предназначен для изменения скорости вращения машины. Менять скорость вращения, а так же обеспечивать плавный пуск позволяет Тр.1, при помощи которого можно регулировать напряжение подводимое к двигателю.

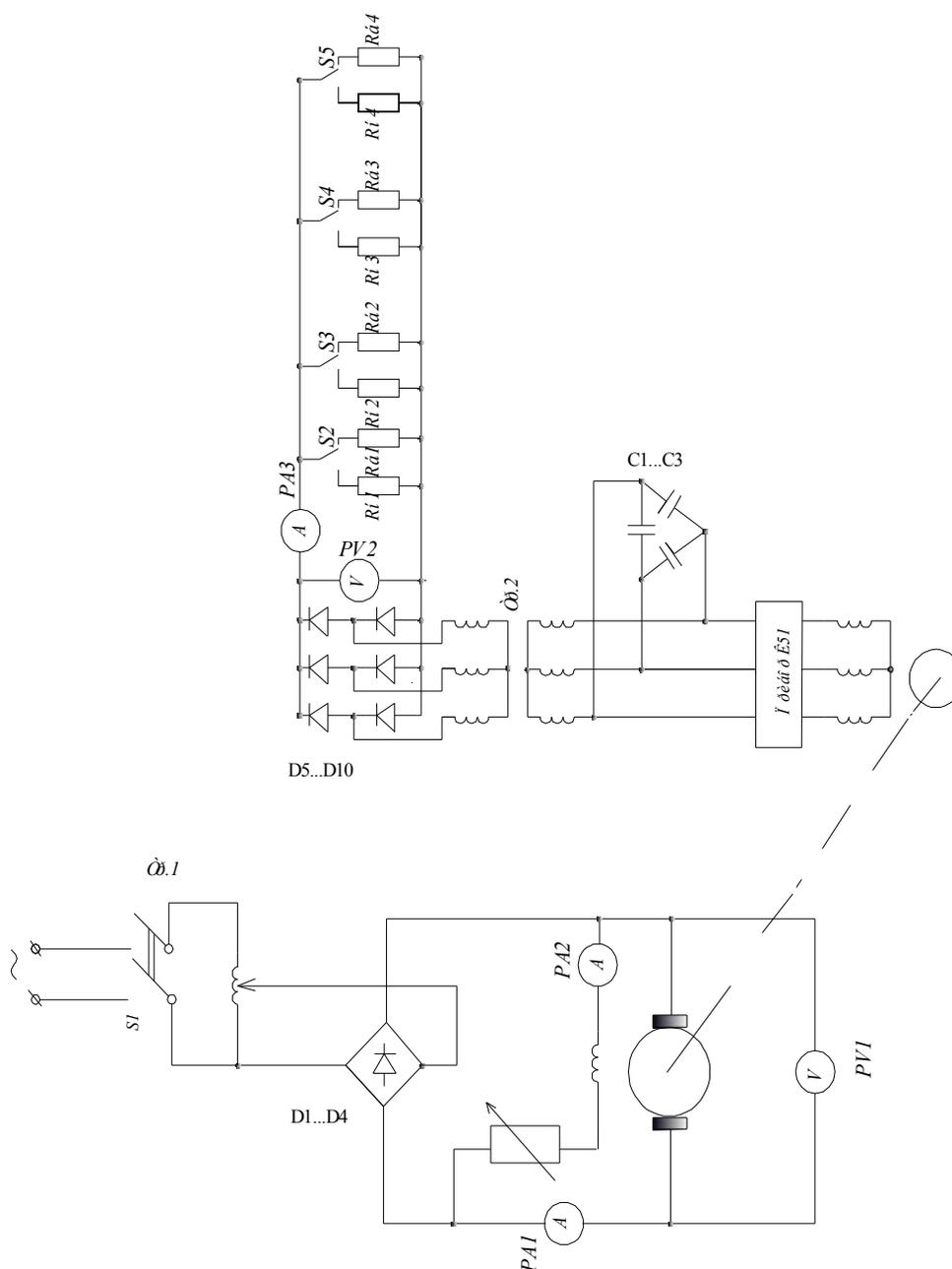


Рисунок 3 - Схема испытательной установки.

Двигатель постоянного тока приводит во вращение асинхронную машину типа 4ААМ564УЗ. Возбуждение асинхронного генератора происходит при помощи батареи статических конденсаторов [С1- С3]. Величина емкости, включенной в каждую фазу, может ступенчато меняться [на схеме не показано]. В обмотку статора асинхронного генератора [А.Г.] включен измерительный комплект К51, позволяющий измерять токи, напряжения и мощности каждой фазы, т.е.  $I_a; I_b; I_c; U_a; U_b; U_c; P_a; P_b; P_c$

Частота вращения измеряется при помощи часового тахометра. Нагрузка, подключаемая к генератору, носит чисто активный характер, и представляет собой активные резисторы, сопротивление которых может изменяться. Для получения заданных по ТЗ выходных параметров генератора нагрузка подключена к нему через понижающий трансформатор Тр.2 и трехфазный выпрямитель Д5...Д10. В цепь нагрузки включены вольтметр PV2 и амперметр РА3.

Для поддержания постоянных параметров на выходе при дискретно меняющейся нагрузке  $R_h$  схема предусматривает возможность ступенчатого подключения балластных сопротивлений  $R_b$ .

#### Результаты испытаний опытного образца асинхронного генератора

В качестве асинхронного генератора [АГ] испытывался асинхронный электродвигатель типа 4ААМ564У3, имеющий в двигательном режиме следующие номинальные параметры: мощность 180 Вт, синхронная частота вращения 1500 об/мин, номинальная частота вращения 1370 об/мин, ток 0,67 А, КПД 64%, коэффициент мощности 0,64.

Для понижения выходного напряжения с целью обеспечения требуемых по техническому заданию параметров использовались три однофазных трансформатора типа ТН 46-220-50 и трехфазный выпрямитель, содержащий шесть диодов типа В.10. Для получения выходных характеристик АГ при различных режимах работы в качестве дискретно изменяющейся нагрузки использовались балластные сопротивления, подключенные к выпрямителю. Следует подчеркнуть, что маломощные трансформаторы, используемые для понижения выходного напряжения, имеют невысокий КПД и поэтому сами являются дополнительной активно-индуктивной нагрузкой для АГ.

Различные частоты вращения ротора АГ имитируют различные расходы и напоры воды при работе АГ в составе мини-ГЭС. С целью исследования влияния величины возбуждающей емкости на выходные показатели АГ испытания были проведены для ряда дискретно изменяющихся емкостей в диапазоне от 2,5 до 4,5 мкФ. Пределы данного диапазона были определены расчетным путем с учетом собственных параметров АГ. Анализ влияния величины емкости возбуждающих конденсаторов показал [см. рис.4 и 5], что для данного АГ наиболее оптимальной является емкость 3,5 мкФ в каждой фазе статора АГ. При этом учитывались выходные параметры на выходе схемы как по постоянному, так и по переменному току при крайних значениях величины нагрузки. При дальнейшем увеличении емкости машина насыщается прост емкости, а следовательно, стоимость и габариты системы возбуждения не приводят к увеличению выходных параметров АГ.

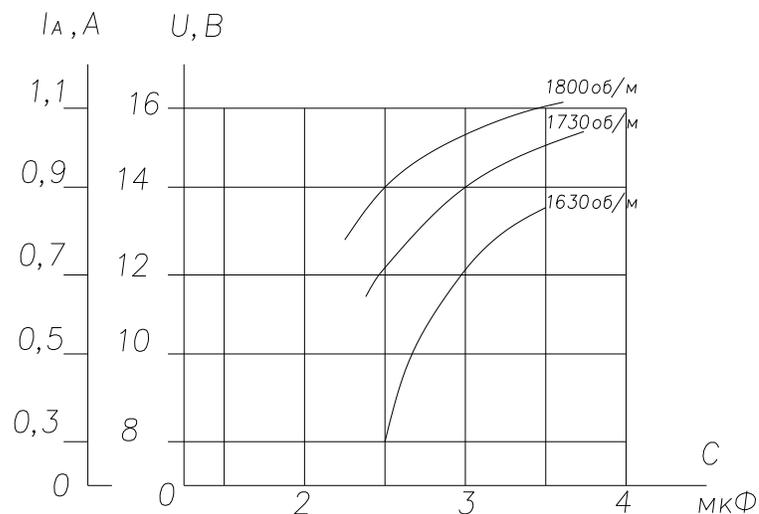


Рисунок 4 - Влияние емкости конденсаторов на выходные показатели АГ на первой ступени нагрузки.

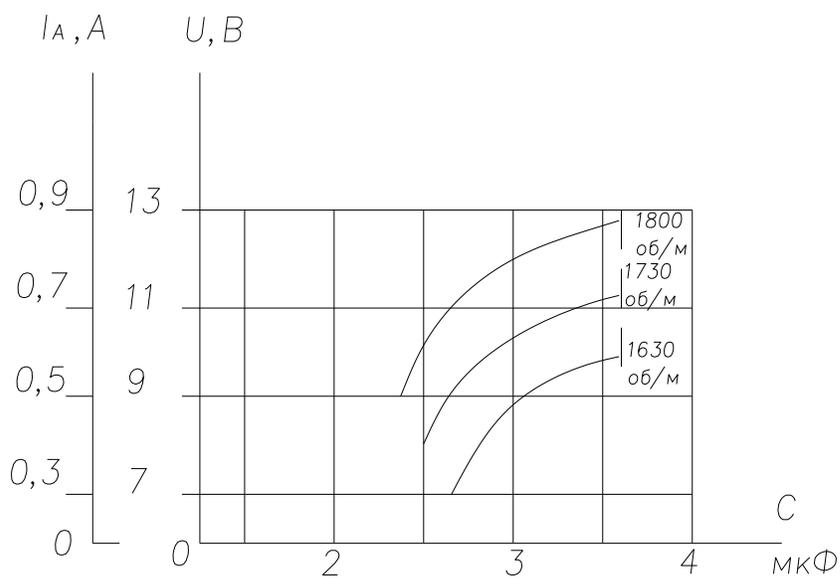


Рисунок 5 - Влияние емкости конденсаторов на выходные показатели АГ на четвертой ступени нагрузки.

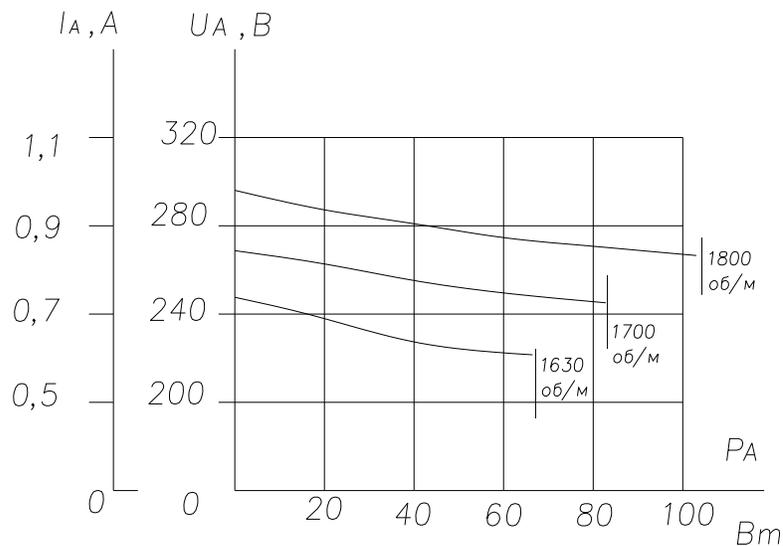


Рисунок 6 - Характеристика АГ на выходе по переменному току при  $C=3,5$  мкФ.

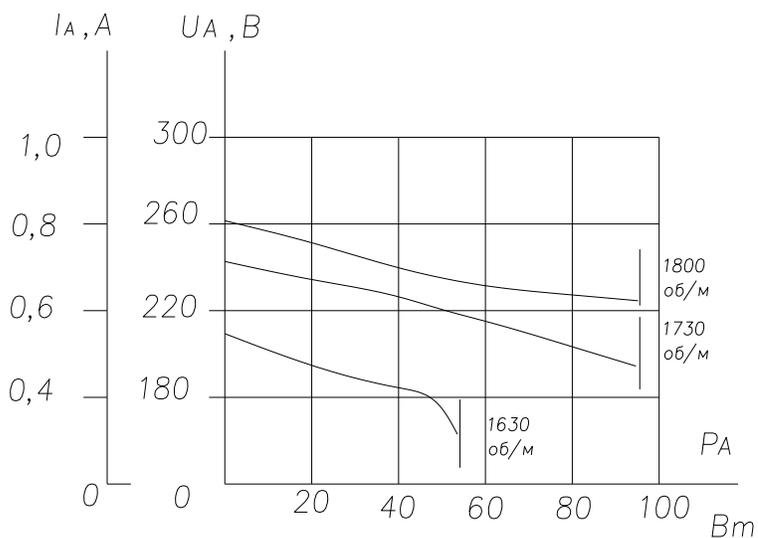


Рисунок 7 - Характеристика АГ на выходе по переменному току при  $C=3,0$  мкФ.

Характеристики АГ на выходе по переменному току приведены на рис.6 и 7. Из них видно, что при определенных выше оптимальных значениях возбуждающей емкости и частоте вращения обеспечивается требуемая по заданию выходная мощность 100 Вт.

## Литература

1. Кравчик А.Э., Шлаф М. М. Выбор и применение асинхронных двигателей. М.: Энергоатомиздат, 1987.
2. Горощев Н. Д. Трехфазный асинхронный двигатель в схеме однофазного включения с конденсатором. М.: Энергоатомиздат, 1988.
3. Кравчик А.Э., Шлаф М. М. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник. М.: Энергоиздат, 1982.
4. Акимов Е.Г. Выбор асинхронных двигателей общего назначения. Методические рекомендации.
5. Алиев И.И. [2004] Асинхронные двигатели в трехфазном и однофазном режимах.
6. Арменский Е.В., Фалк Г.Б. [1975] Электрические микромашины.
7. Архипцев Ю.Ф., Котеленец Н.Ф. [1986] Асинхронные электродвигатели.
8. Вешеневский С.Н. [1977] Характеристики двигателей в электроприводе.
9. Вольдек А.И. [1978] Электрические машины.
10. Гемке Р.Г. [1975] Неисправности электрических машин
11. Деро А.Р. [1976] неполадки в работе асинхронного двигателя
12. Зимин Е.Н. [1967] Защита асинхронных двигателей до 500 в
13. Ильинский Н.Ф. [1959] Расчет и выбор сопротивлений для электродвигателей
14. Исмаилов Ш.Ю. [1968] Автоматические системы и приборы с шаговыми двигателями
15. Масандилов Л. Б., Москаленко В. В. Регулирование скорости вращения асинхронных двигателей. М., «Энергия», 1968.

**Х.Т. Касмамбетов**

### **НОБ – и ХУРД ДАР АСОСИ ГЕНЕРАТОРҶОИ АСИНХРОНӢ**

Дар мақола кори муҳарриқи асинхронии ротораш иттисоли кутуҳшуда дар режими генератор ва таъсири ғунҷоиши конденсаторҳои ангезишдиҳанда дида баромада шудааст.

**Калимаҳои калидӣ:** НОБ-и хурд, худангезишаванда, генератори асинхронӣ, конденсатор, тавоноии реактивӣ, бор.

**H.T.Kasmambetov**

### **MICRO HYDROELECTRIC POWER STATION ON THE BASIS OF ASYNCHRONOUS GENERATORS**

In this article is considered the operation of the asynchronous engine with a short-circuited rotor in a mode of the generator and influence of capacity of exciting condensers.

**Index terms:** Micro hydroelectric power stations, self-stimulation, induction generator, a condenser, reactive power load.

### Сведения об авторе

**Касмамбетов Хусейн Талантбекович**, старший преподаватель кафедры «Электроснабжение» Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, Кыргызстан 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66, e-mail: Email: kusein@mail.ru тел.: +996550199926

**М.Н. Абдусалямова, С.А. Гадоев**

### ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ СУРЬМЯНЫХ ОГАРКОВ

*Приведены данные по гидрометаллургической переработке сурьмяного огарка. Объектом исследования был огарок, полученный после обжига сурьмяного концентрата. Содержание сурьмы в огарке составило 61.5%. В приведенных исследованиях в качестве растворителя использовались сульфидно-щелочные растворы, состоящие из едкого и сернистого натрия.*

**Ключевые слова:** сурьма, выщелачивание, гидрометаллургия.

Гидрометаллургическими методами можно перерабатывать как чисто сурьмяные концентраты, так и комплексные, а также полупродукты пирометаллургического процесса [1-3].

В общем виде процесс гидрометаллургического получения сурьмы состоит из двух этапов:

- выщелачивание сурьмы из сырья в растворителях;
- выделение металла из полученных растворов путем цементации цинком, алюминием, либо электролизом.

Выщелачивание можно проводить как щелочными, так и кислыми растворителями.

В данной работе объектом исследования был огарок, полученный после обжига сурьмяного концентрата [4]. Содержание сурьмы в огарке составило 61.5%. В приведенных исследованиях в качестве растворителя использовались сульфидно-щелочные растворы, состоящие из едкого и сернистого натрия.

Методика проведения эксперимента была следующей: после перемешивания пробы со щелочным растворителем кек выщелачивания переносился на фильтр, после чего остатки смывались 1% раствором  $\text{Na}_2\text{S}$ . Объем раствора учитывался далее при расчетах количества сурьмы, перешедшей в раствор.

Концентрацию сурьмы в растворе определяли по следующей методике: брали пипеткой 5 мл продуктивного раствора, переносили в коническую колбу, доливали 30

мл H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> [плотность 1.84] и нагревали до просветления раствора. Затем разбавляли водой до 150-200 мл, кипятили для удаления SO<sub>2</sub>, доливали 10 мл концентрированной соляной кислоты и титровали раствором перманганата калия [можно бромат калия] в присутствии индикатора метилоранжа до разрушения его окраски.

Содержание сурьмы рассчитывали по формуле:

$$Sb \text{ г/л} = T \cdot V1000/V_1,$$

Где Т - титр раствора перманганата калия, по сурьме г/л.

V - Объем раствора перманганата калия, пошедший на титрование, мл;

V<sub>1</sub> – объем раствора, взятый на анализ, мл;

Первоначально были взяты следующие условия опытов:

-температура раствора – 80<sup>0</sup>С;

-время выщелачивания 60 минут;

-концентрация NaOH – 20 г/л.

При этом меняли концентрацию сернистого натра в растворе от 20 до 100 г/л [Табл. 1]. Увеличение концентрации сернистого натрия с 20 до 80 г/л позволило увеличить переход сурьмы в раствор с 58.54 до 99.4% [Рис.1].

Таблица 1

Влияние концентрации сернистого натрия на выщелачивание сурьмы

Время выщелачивания, [мин]	Температура, [°C]	Концентрация Na <sub>2</sub> S, [г/л]	Концентрация NaOH, [г/л]	Масса кека, [г]	Убыль массы, [%]	Концентрация Sb, [г/л]	Масса Sb перешедшей в раствор, [г]	Извлечение Sb, [%]
60	80	20	20	1.382	53.94	51.42	1.080	58.54
60	80	40	20	0.620	79.33	74.52	1.565	84.82
60	80	60	20	0.493	83.56	86.80	1.823	98.81
60	80	80	20	0.495	83.50	87.30	1.834	99.40
60	80	100	20	0.496	83.46	87.14	1.830	99.19

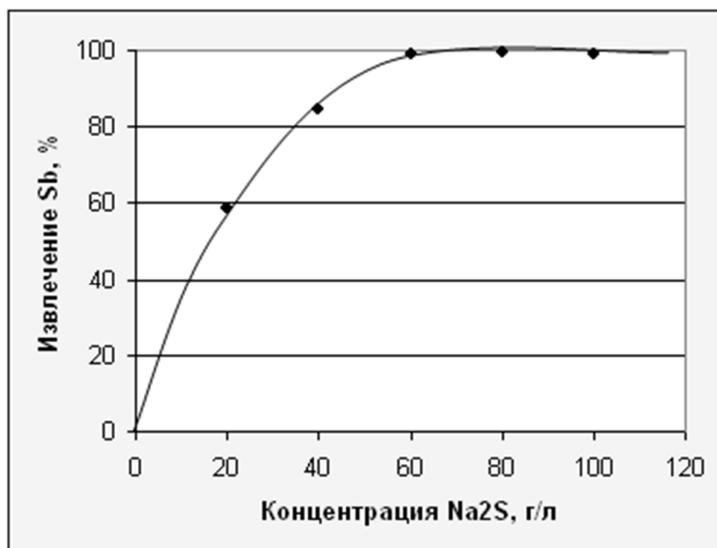


Рисунок 1. Извлечение сурьмы в раствор в зависимости от концентрации Na<sub>2</sub>S в выщелачивающем растворе.

В таблице 2 представлены результаты исследований влияния концентрации NaOH на растворение сурьмяного огарка. Как видно из представленных данных, концентрация 20 г/л является оптимальной.

Таблица 2

Влияние концентрации едкого натра на выщелачивание сурьмы

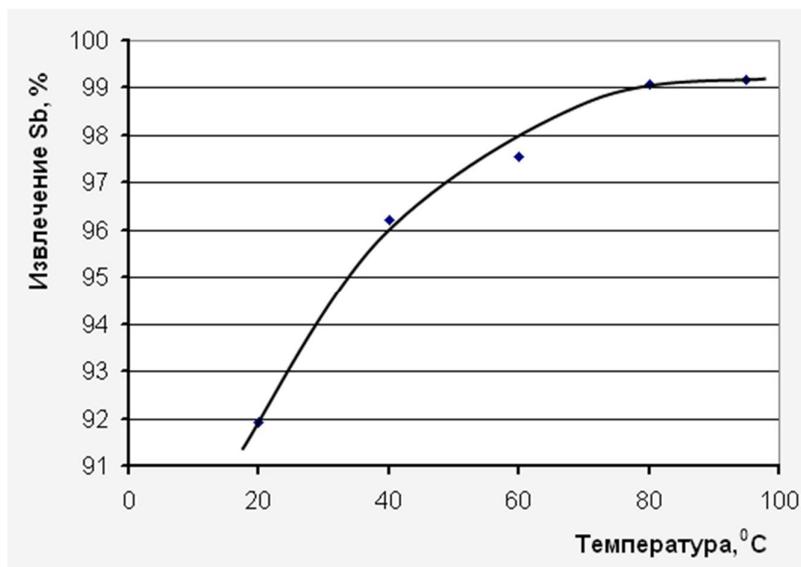
Время выщелачивания, [мин.]	Температура, [°C]	Концентрация Na <sub>2</sub> S, [г/л]	Концентрация NaOH, [г/л]	Масса осадка, [г]	Убыль массы, [%]	Концентрация Sb, [г/л]	Масса Sb перешедшей в раствор, [г]	Извлечение Sb, [%]
60	80	60	20	0.490	83.66	87.00	1.827	99.02
60	80	60	40	0.493	83.56	87.04	1.828	99.07
60	80	60	60	0.491	83.63	86.86	1.824	98.86
60	80	60	80	0.496	83.46	87.09	1.829	99.13

В таблице 3 и рис. 2 приведена зависимость влияния температуры на процесс перехода сурьмы в раствор. Температура варьировалась от 20 до 95°C. Температура 80°C является оптимальной для исследуемого процесса – при этом в раствор переходит 99.07% сурьмы.

Таблица 3

Влияние температуры на выщелачивание сурьмы

Время выщелачивания, [мин.]	Температура, [°C]	Концентрация, Na <sub>2</sub> S, [г/л]	Концентрация NaOH, [г/л]	Масса кека, [г]	Убыль массы, [%]	Концентрация Sb, [г/л]	Масса, Sb перешедшей в раствор [г]	Извлечение Sb, [%]
60	20	60	20	0.583	80.57	80.76	1.696	91.92
60	40	60	20	0.536	82.13	84.52	1.775	96.20
60	60	60	20	0.507	83.10	85.71	1.800	97.56
60	80	60	20	0.495	83.50	87.04	1.828	99.07
60	95	60	20	0.497	83.43	87.14	1.830	99.18



Рисунка 2. Извлечение сурьмы в раствор в зависимости от его температуры.

Рассматривалось влияние продолжительности процесса на выщелачивание сурьмы в раствор, которая изменялась от 15 до 120 минут [Табл. 4, рис. 3]. Как видно из полученных данных, за 30 минут в раствор переходит максимальное количество сурьмы.

Таблица 5

Влияние продолжительности процесса на выщелачивание сурьмы

Время выщелачивания, [мин.]	Температура, [°C]	Концентрация $\text{Na}_2\text{S}$ , [г/л]	Концентрация $\text{NaOH}$ , [г/л]	Масса кека, г	Убыль массы, [%]	Концентрация, Sb, [г/л]	Масса, Sb перешедшей в раствор [г]	Извлечение Sb, [%]
120	80	60	20	0.507	83.10	85.23	1.791	97.07
90	80	60	20	0.503	83.23	86.28	1.812	98.21
60	80	60	20	0.495	83.50	87.04	1.828	99.07
30	80	60	20	0.495	83.50	87.14	1.830	99.18
15	80	60	20	0.499	83.36	86.80	1.823	98.80

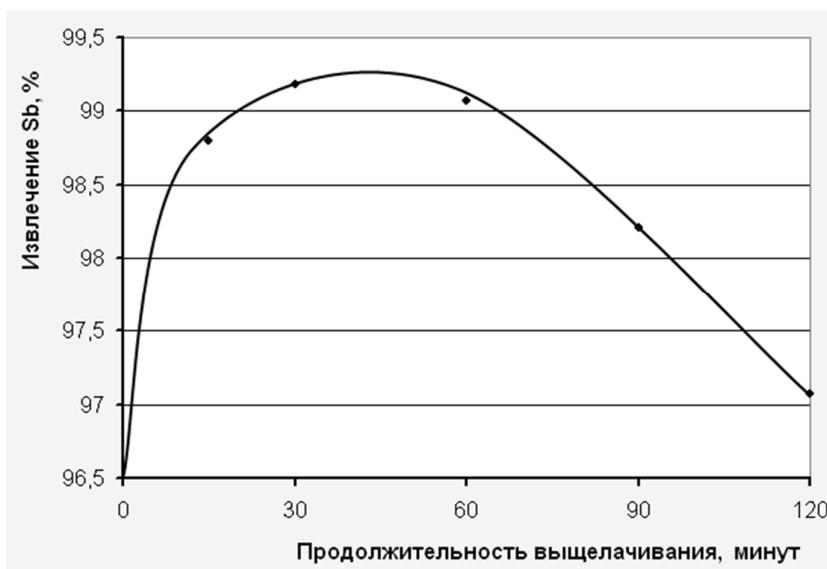


Рисунок 3. Зависимость извлечения сурьмы от продолжительности выщелачивания.

Таким образом, на основании проведенных исследований по выщелачиванию огарка установлены следующие оптимальные условия процесса:

- Температура 80°C;
- Концентрация  $\text{Na}_2\text{S}$  60 г/л;
- Концентрация  $\text{NaOH}$  20 г/л;
- Время выщелачивания 30 мин;
- Т/Ж 1/7.

При этом извлечение сурьмы в раствор выщелачивания составило 99.18%.

## Литература

1. M.N.Abdusalyamova, D.Dreisinger, Z.Zinchenko, P.Solozhenkin, S.A.Gadoev. J.Environmental Science and Engineering, 2013, v2, p.282-292.
2. Байбородов П.П. Промышленная технология гидрометаллургической переработки полиметаллических сурьмяных концентратов // Цветные металлы, 1978.- №4.- С.26-27.
3. Мельников С.М., Розловский А.А. и др. Сурьма.- М.: Metallurgiya, 1977. -535 с.
4. М.Н. Абдусаломов, П.М.Соложенкин, Гадоев С.А. Экологически чистые гидрометаллургические методы переработки золотосодержащих сурьмяно – ртутных концентратов. Респ. научн. практ. конф. «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» [Прогрессивные методы производства].- Душанбе, Бахт ЛТД, 2009. – с. 222 – 225

**М.Н.Абдусаломов, С.А.Гадоев**

### КОРКАРДИ ҲИДРОМЕТАЛЛУРГИИ НИМСӮХТАИ СУРМА

Маълумот оид ба коркарди гидрометаллургии нимсӯхтаи сурма пешниҳод шудааст. Таҳқиқот дар нимсӯхтае, ки баъди бозпушти концентрати сурма ҳосил шуда, гузаронида шуд. Сурма дар таркиби нимсӯхта 61.5% ташкил медиҳад. Дар таҳқиқот ба ҳайси ҳалкунанда маҳлули сулфурию ишқорӣ иборат аз натри тез ва сулфурӣ истифода гардид.

**Калимаҳои калидӣ:** сурма, ишқорронӣ, гидрометаллургия

**M.N. Abdusalyamova, S.A. Gadoev**

### HYDROMETALLURGY PROCESSING ANTIMONY CINDERS

The data on the hydrometallurgical processing of antimony cinder is provided. The object of the study was the cinder after firing of antimony concentrate. Antimony content in the roasted product was 61.5%. as the given researches as solvent were used sulfide-alkaline solutions consisting of sodium sulfide and sodium.

**Key words:** antimony, leaching, hydrometallurgy.

### Сведения об авторах

**Абдусаломов Махсуда Нигматуллаевна** - д.х.н., заслуженный деятель науки и техники Республики Таджикистан, главный научный сотрудник института химии АН Республики Таджикистан, автор нескольких сотен научных трудов, изобретений и патентов, область научных интересов - цветная металлургия, металлургия редких металлов, биохимия, кристаллохимия. Контактная информация: Моб.тел.: +992907500701 E-mail: [amahsuda@mail.ru](mailto:amahsuda@mail.ru)

**Гадоев Сафарали Айнидинович** – 1982 г.р., окончил [2005г.] ТТУ, к.т.н., проректор по учебной работе ТТУ имени акад. М.С.Осими, автор более 30 научных работ, область научных интересов – цветная металлургия, металлургия редких металлов, инженерная и компьютерная графика. Контактная информация: тел.:+992 2213687, моб.: 992 918572575 E-mail: [sgadoev@gmail.com](mailto:sgadoev@gmail.com)

Т.Д. Джураев, Ф.К. Рахимов, Э.Р. Газизова, У.С. Джумаев

## ИЗУЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ТРЁХКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ИТТЕРБИЙ-АЛЮМИНИЙ-КАЛЬЦИЙ

*В работе изучена диаграмма состояния трёхкомпонентной системы иттербий-алюминий-кальций методом симплексного планирования.*

**Ключевые слова:** иттербий, алюминий, кальций, диаграммы состояния, поверхности ликвидуса, матрица планирования.

В последние годы всевозрастающим темпом ведутся научно-исследовательские работы по применению иттербия в различных отраслях современной науки, техники и технологии. Иттербий применяется в производстве термоэлектрических, лазерных и магнитных материалов, а также в электронике и ядерной энергетике. Он используется в производстве как газопоглотитель в электровакуумных приборах, а также в радиоэлектронике и в специальных сплавах, из которых изготавливаются различные виды проката [прутки, листы, проволока и т.д.] и жаропрочные материалы.

Как известно, при разработке материалов широко применяются эмпирические приемы, что требует длительных и трудоемких экспериментов. Однако теоретические приемы изучения качественных и количественных связей между составом, структурой и свойствами материалов становятся основными. Аналитическое представление зависимостей свойств сплавов от их состава в многокомпонентных системах по существу является развитием идей Н.С. Курнакова [1]. Для оценки характера взаимодействия компонентов необходимо иметь сведения о диаграммах состояния, т.к. именно они составляют теоретическую основу разработки материалов.

На современном этапе развития науки представляют интерес математические методы планирования экспериментов, позволяющие уменьшить их число и получить требуемые результаты. Сущность одного из таких методов, предложенного Шеффе [2-4], заключается в построении математических моделей [полиномиальных уравнений той или иной степени], связывающих изучаемое свойство с составом сплавов. Для расчета коэффициентов уравнений сплавы выбирают не случайно, а закономерно располагая их по так называемым симплексным решеткам. Сами модели выводятся с учетом того, что сумма компонентов в любом сплаве всегда равна единице.

Построение диаграмм состав-свойство [в нашем случае состав-температура ликвидуса] методом симплексных решеток включает следующие этапы: 1] выбор модели; 2] составление и реализацию опытов соответствующего плана эксперимента [матрицы планирования]; 3] вычисление коэффициентов регрессии и построение модели и 4] проверку её адекватности [т.е. соответствия изучаемому объекту].

Нами для построения поверхности ликвидуса математическая модель и формулы для расчета коэффициентов выводились аналогично работам [2-4].

Была выбрана модель четвертой степени для трехкомпонентной системы:

$$y = \sum_{1 \leq i \leq q} \beta_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq q} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i < j \leq q} \gamma_{ij} x_i x_j (x_i - x_j) + \sum_{1 \leq i < j \leq q} \delta_{ij} x_i x_j (x_i - x_j)^2 +$$

$$+ \sum_{1 \leq i < j < k \leq q} \beta_{ijk} x_i^2 x_j x_k + \sum_{1 \leq i < j < k \leq q} \beta_{ijk} x_i x_j^2 x_k + \sum_{1 \leq i < j < k \leq q} \beta_{ijk} x_i x_j x_k^2 + \sum_{1 \leq i < j < k < l \leq q} \beta_{ijkl} x_i x_j x_k x_l,$$

где  $y$  – свойство системы, т.е. температура ликвидуса;  $\beta_i$ ,  $\beta_{ij}$ ,  $\gamma_{ij}$ ,  $\delta_{ij}$  и  $\beta_{ijk}$  – коэффициенты регрессии и  $x_i$ ,  $x_j$  и  $x_k$  – число компонентов.

Матрица планирования и результаты опытов приведены в табл. 1 и на рис. 1.

В данной работе значения температуры начала кристаллизации для двойных сплавов систем иттербий-алюминий и кальций-алюминий брали по литературным данным [6-7], а ликвидусы сплавов системы кальций-иттербий, лежащих в центре концентрационного треугольника, как и ликвидусы сплавов в контрольных точках, определяли по данным дифференциального термического анализа.

Таблица 1

Матрица планирования и результаты эксперимента системы иттербий-алюминий-кальций

№/№ п/п	Код сплава	Состав сплавов						Температура ликвидуса, °С
		в кодовом масштабе, доли единиц			в натуральном выражении ат.%			
		$x_1$	$x_2$	$x_3$	Al	Yb	Ca	
1.	$y_1$	1.0	0.0	0.0	100	0	0	660
2.	$y_2$	0.0	1.0	0.0	0	100	0	819
3.	$y_3$	0.0	0.0	1.0	0	0	100	842
4.	$y_{12}$	0.5	0.5	0.0	50	50	0	1225
5.	$y_{13}$	0.5	0.0	0.5	50	0	50	830
6.	$y_{23}$	0.0	0.5	0.5	0	50	50	805
7.	$y_{1112}$	0.75	0.25	0.00	75	25	0	1300
8.	$y_{1222}$	0.25	0.75	0.00	25	75	0	660
9.	$y_{1113}$	0.75	0.00	0.25	75	0	25	1030
10.	$y_{1333}$	0.25	0.00	0.75	25	0	75	660
11.	$y_{2223}$	0.00	0.75	0.25	0	75	25	810
12.	$y_{2333}$	0.00	0.25	0.75	0	25	75	835
13.	$y_{1123}$	0.50	0.25	0.25	50	25	25	940
14.	$y_{1223}$	0.25	0.50	0.25	25	50	25	925
15.	$y_{1233}$	0.25	0.25	0.50	25	25	50	965

Сплавы для дифференциального термического анализа и записи кривых термограмм производили по методике, описанной в [7]. Для каждого сплава температуру ликвидуса определяли на двух параллельных образцах и брали среднеарифметическое значение.

По результатам определения температуры ликвидуса сплавов рассчитаны коэффициенты уравнения регрессии [2] из следующих соотношений:

$$\beta_1 = y_1 = 660;$$

$$\beta_2 = y_2 = 819;$$

$$\begin{aligned} \beta_3 &= y_3 = 842; \\ \beta_{12} &= 4y_{12} - 2y_1 - 2y_2 = 1942; \\ \beta_{13} &= 4y_{13} - 2y_1 - 2y_3 = 316; \\ \beta_{23} &= 4y_{23} - 2y_2 - 2y_3 = -102; \\ \gamma_{12} &= 8/3 [-y_1 + 2y_{1112} - 2y_{1222} + y_2] = 3837.33; \\ \gamma_{13} &= 8/3 [-y_1 + 2y_{1113} - 2y_{1333} + y_3] = 2458.667; \\ \gamma_{23} &= 8/3 [-y_2 + 2y_{2223} - 2y_{2333} + y_3] = -72; \\ \delta_{12} &= 8/3 [-y_1 + 4y_{1112} - 6y_{12} + 4y_{1222} - y_2] = -2637.33; \\ \delta_{13} &= 8/3 [-y_1 + 4y_{1113} - 6y_{13} + 4y_{1333} - y_3] = 741.33; \\ \delta_{23} &= 8/3 [-y_2 + 4y_{2223} - 6y_{23} + 4y_{2333} - y_3] = 661.33 \\ \beta_{1123} &= 32 [3y_{1123} - y_{1223} - y_{1233}] + 8/3 [6y_1 - y_2 - y_3] - 16 [y_{12} + y_{13}] - 16/3 [5y_{1112} + \\ & 5y_{1113} - 3y_{1222} - 3y_{1333} - y_{2223} - y_{2333}] = -29229.33; \\ \beta_{1223} &= 32 [3y_{1223} - y_{1123} - y_{1233}] + 8/3 [6y_2 - y_1 - y_3] - 16 [y_{12} + y_{23}] - 16/3 [5y_{1222} + \\ & 5y_{2223} - 3y_{1112} - 3y_{2333} - y_{1113} - y_{1333}] = 8432; \\ \beta_{1233} &= 32 [3y_{1233} - y_{1123} - y_{1233}] + 8/3 [6y_3 - y_1 - y_2] - 16 [y_{13} + y_{23}] - 16/3 [5y_{1333} + \\ & 5y_{2333} - 3y_{1113} - 3y_{2223} - y_{1112} - y_{1222}] = 16354.66. \end{aligned}$$

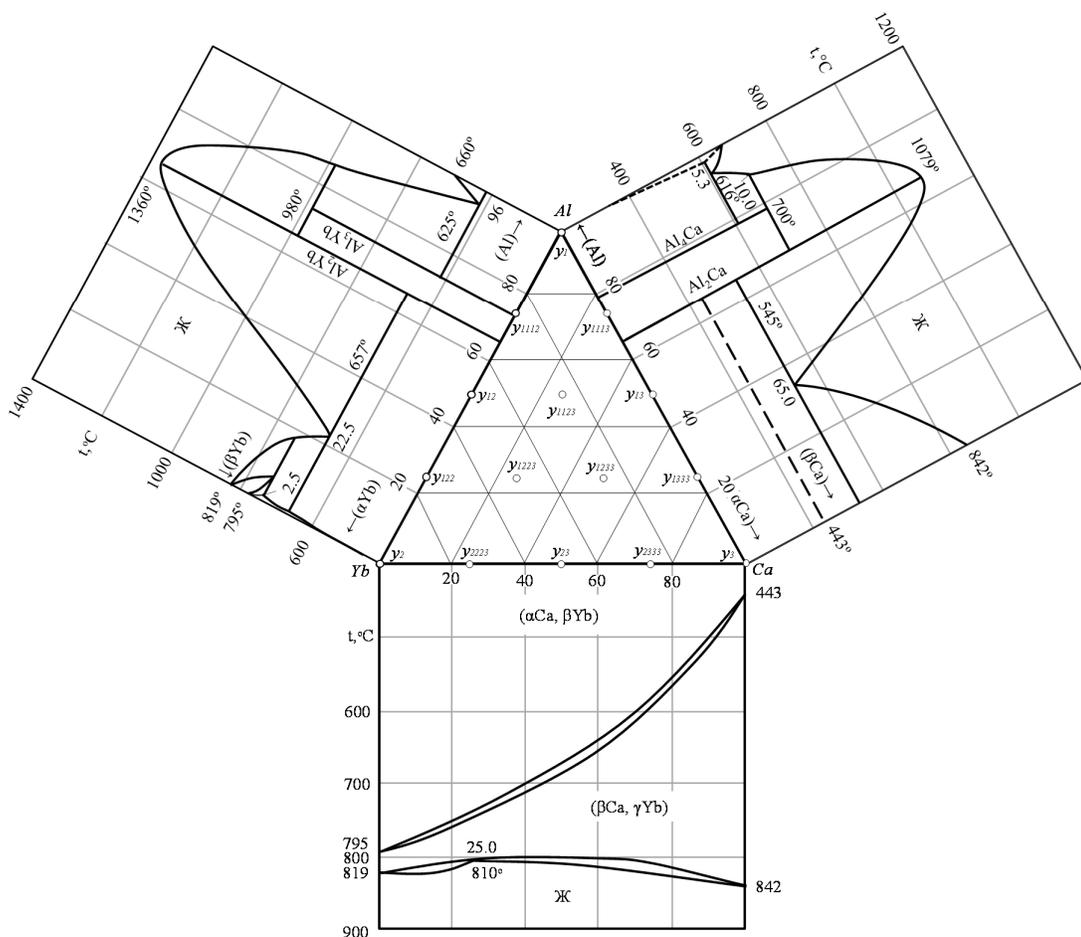


Рисунок 1. Развёртка тройной системы иттербий-алюминий-кальций.

Таким образом, модель четвертой степени поверхности ликвидуса в системе иттербий-алюминий-кальций имеет вид:

$$y = 660x_1 + 819x_2 + 842x_3 + 1942x_1x_2 + 316x_1x_3 - 102x_2x_3 + 3837.33x_1x_2[x_1 - x_2] + 2458.667x_1x_3[x_1 - x_3] - 72x_2x_3[x_2 - x_3] - 2637.33x_1x_2[x_1 - x_2]^2 + 741.33x_1x_3[x_1 - x_3]^2 + 661.33x_2x_3[x_2 - x_3]^2 - 29229.33x_1^2x_2x_3 + 8432x_1x_2^2x_3 + 16354.66x_1x_2x_3^2. \quad [1]$$

где  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  – содержание в сплавах Yb, Al и Ca в атомных долях.

Полученное уравнение регрессии [1] позволяет не только предсказывать температуры начала кристаллизации сплавов данной системы без дополнительных экспериментов, но и определять области, линии и точки фазовых равновесий.

Адекватность модели [1] проверяли с помощью t-критерия по данным опытов в каждом из шести контрольных точек [1-6] с повторением [n = 2]. Число степеней свободы составило  $f = 1 + n = 6 + 2 = 8$ , принимаем  $f = 8$ .

Дисперсия опытов определялась по формуле

$$\sigma_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}},$$

где  $y$  – измеренная величина [температура ликвидуса],  $\bar{y}$  – её среднее значение,  $n$  – число измерений. Для нашего случая с учетом ошибок эксперимента  $\sigma_{\bar{y}} = 5.4$ .

Экспериментальное значение критерия Стьюдента рассчитали по формуле

$$t_{\alpha/l;f} = \frac{\Delta y \sqrt{n}}{\sigma_{\bar{y}} \sqrt{n + \xi}},$$

где  $\Delta y = /y_{\text{экс.}} - y_{\text{расч.}}/$ ;  $\xi$  – величина, зависящая от положения сплава на концентрационном треугольнике;  $\alpha$  – уровень значимости,  $l$  – число контрольных точек.

Значения  $\xi$  взяты с контурной карты для модели четвертой степени [2-4]. Для всех точек рассчитанные значения t-критерия при уровне значимости  $\alpha = 0.05$  оказались меньше табличного [ $t_{0.008;6} = 3.55$ ], т.е. гипотеза об адекватности не отвергается [табл.2].

Для установления ошибки предсказанного по данному уравнению значения температуры ликвидуса строили доверительные интервалы.

Таблица 2

Проверка адекватности модели четвертой степени по данным опытов в контрольных точках

№ опыта	Состав сплава, доли единицы			У <sub>эксп</sub>	У <sub>расч</sub>	Δу	ξ	Эксп. t <sub>0.008;8</sub>
	x <sub>1</sub> [Al]	x <sub>2</sub> [Yb]	x <sub>3</sub> [Ca]					
1	0.29	0.37	0.34	975	967	8	0.75	1.26
2	0.29	0.30	0.41	973	968	5	0.73	0.79
3	0.29	0.22	0.49	955	943	12	1.06	1.79
4	0.29	0.15	0.56	905	894	11	1.08	1.64

5	0.29	0.07	0.64	810	797	13	0.92	1.99
6	0.33	0.33	0.33	942	948	6	0.55	0.99

Расчет проводили по формуле [2,7]

$$\Delta = \pm \frac{t_{\alpha/k;f} \cdot \sigma_{\bar{y}}}{\sqrt{n}} \cdot \xi^{1/2},$$

где  $\Delta$  – ошибка предсказанного значения  $y$ , °C;  $t_{\alpha/k;f}$  – критерий Стьюдента [ $\alpha$  – уровень значимости,  $f$  – число степеней свободы при определении дисперсии опыта,  $k$  – число коэффициентов уравнения регрессии].

В нашем случае  $\alpha = 0.05$ ,  $f = 8$ ,  $k = 15$ ,  $t_{0.008;6} = 3.55$ ,  $n = 2$ ,  $\sigma_{\bar{y}} = 5.4$ , следовательно,  $\Delta \approx 15\xi^{1/2}$ .

Для геометрического представления полученной поверхности ликвидуса строили изотермы ликвидуса через каждые 50°C [две линии ликвидуса через 25°C, см. рис. 2]. С этой целью вначале вычисляли кривые ликвидуса политермических разрезов через 5% параллельно сторонам треугольника, с которых и переносили точки при постоянной температуре на концентрационный треугольник. Все вычисления проводили на ЭВМ.

Полученная поверхность [рис. 2] хорошо передаёт геометрический образ поверхности ликвидуса. Хорошо выявляются области первичной кристаллизации чистых компонентов, двойных интерметаллических соединений  $YbAl_2$  и  $CaAl_2$ , кривых кристаллизации двойных эвтектик и кристаллизации бинарной системы кальций-иттербий, где подавляющую область кристаллизации занимает  $YbAl_2$  и твердые растворы системы  $Yb-Ca$ . Общий характер линий ликвидуса в тройной системе согласуется с характером ликвидуса в двойных боковых системах.

Таким образом, применение метода симплексных решеток в настоящем исследовании дало возможность путем проведения небольшого числа экспериментов при использовании литературных данных построить математическую модель поверхности ликвидуса системы иттербий-алюминий-кальций, с достаточной точностью предсказывающую значения температуры начала плавления сплавов. Адекватность полученной полиномиальной модели, наряду с данными термического анализа, подтверждает правильность предположения о плавном характере изменения температуры ликвидуса сплавов в зависимости от состава.

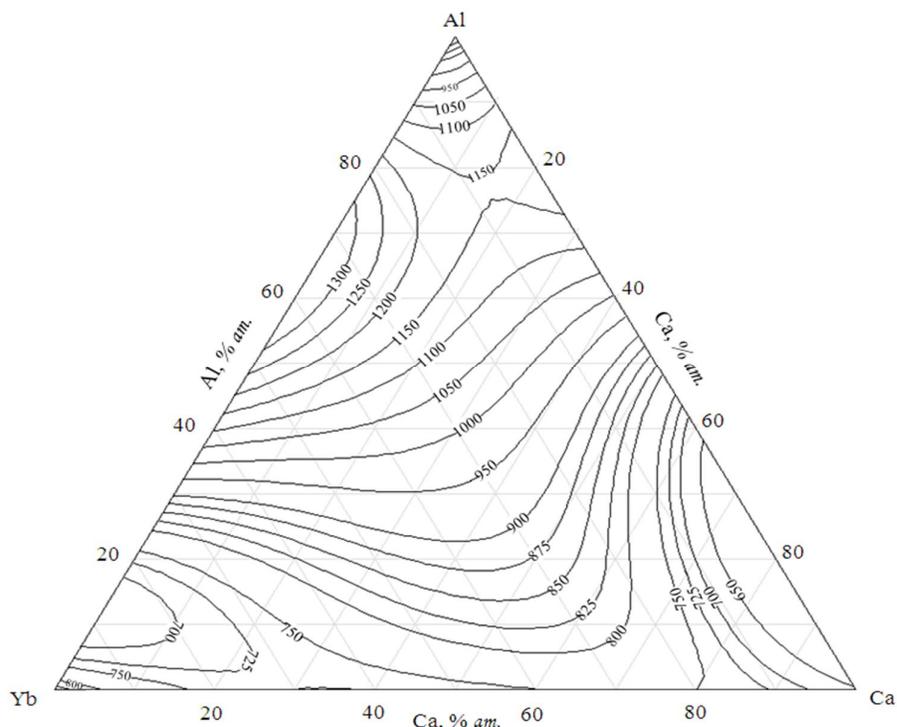


Рисунок 2. Поверхность ликвидуса в системе иттербий-алюминий-кальций.

#### Литература

1. Курнаков Н.С. Топология равновесной химической диаграммы. В сб. «Введение в физико-химический анализ». Изд-во АН СССР, 1940, с. 143.
2. Новик Ф.С. Математические методы планирования экспериментов в металлведении. Раздел IV М., 1970, 149 с.
3. Новик Ф.С., Минц Р.С., Малоков Ю.С. Применение метода симплексных решеток для построения диаграмм состав-свойство. Журн. Заводская лаборатория. 1967, 33, №7, с.840-847.
4. Джураев Т.Д., Вахобов А.В., Эшонов К.К. Изучение диаграммы состояния системы Sr-Ba-Al методом симплексных решеток. Журн. Заводская лаборатория. 1975, 41, №3, с.335-337.
5. Джураев Т.Д., Рахимов Ф.К., Газизова Э.Р. Изучение диаграммы состояния трёхкомпонентной системы иттербий-алюминий-стронций. Материалы IV-й международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования» 2012, с.369-373.
6. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Под ред. акад. РАН Н.П. Лякишева. М.: Машиностроение, 1996, 1997, 2001, т. 1-3, 992, 1024, 1320 с.
7. Джураев Т.Д. Физико-химические основы разработки композиций и сплавов кальция, стронция и бария. Диссертация док. хим. наук. М., 1991, 374 с.
8. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Статистические методы планирования и обработки экспериментов М.: МИТХТ им. Д.И. Менделеева, 1972, 152с.

**Т.Д. Джураев, Ф.К. Рахимов, Э.Р. Газизова, У.С. Джумаев**

### **ОМУХТАНИ ДИАГРАММАҶОИ ҲОЛАТИ СЕКОМПОНЕНТАИ СИСТЕМАҶОИ ИТТЕРБИЙ – АЛЮМИНИЙ – КАЛСИЙ**

Дар мақолаи зерин диаграммаҳои ҳолати секомпонентаи иттербий-алюминий-кальций бо усули симплекси омухта шудааст.

**Вожаҳои калидӣ:** иттербий-алюминий-кальций, диаграммаҳои ҳолат, сатҳи болоии ликвидус.

**T.D. Djuraev, F.K. Rahimov, E.R. Gazizova, U.S. Jumayev**

### **A STUDY OF THE DIAGRAMS OF TERNARY SYSTEMS YTTERBIUM-ALUMINUM-CALCIUM**

This paper studied the diagrams of ternary systems of ytterbium-aluminum-calcium by the method of simplex planning.

**Key words:** ytterbium, aluminum, calcium, state diagrams, liquidus surface, matrix planning.

#### **Сведения об авторах**

**Джураев Тухтасун Джураевич** – профессор кафедры «Металлургия» Таджикского технического университета [ТТУ] им. акад. М.С. Осими, д.х.н., автор 320 научных трудов.

**Рахимов Фаррух Каюмович** – старший преподаватель кафедры «Металлургия» ТТУ им. акад. М.С. Осими, автор 35 научных трудов.

**Газизова Эльвира Рашитовна** – доцент кафедры «Металлургия» ТТУ им. акад. М.С. Осими, к.х.н., автор 100 научных трудов.

**Джумаев Умед Сайфидинович** – аспирант кафедры «Металлургия» ТТУ им. акад. М.С. Осими, к.х.н., автор 25 научных статей.

**С.Ж. Иброхимов, Н.Ф. Иброхимов, Б.Б. Эшов**

### **ВЛИЯНИЕ СКАНДИЯ И ЛАНТАНА НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА АМг4**

*Представлены результаты исследования температурной зависимости теплоёмкости алюминиево-магниевого сплава АМг4, легированного скандием и лантаном. Зависимость изменения удельной теплоёмкости сплава АМг4, характеризуется незначительным понижением по мере роста концентрации скандия и лантана в сплаве и, соответственно, увеличением, при повышении температуры.*

**Ключевые слова:** теплопроводность, скандий, лантан, скорость охлаждения, теплоотдача, легирующий, удельный теплоемкость.

Сплавы системы алюминий-магний относятся к категории перспективных материалов для создания более усовершенствованных сплавов. В этом плане редкоземельные металлы, обладая рядом особенностей, являются перспективными легирующими компонентами. Диаграмма состояния системы Al-Mg и все аспекты свойств бинарных сплавов алюминия с магнием подробно изучены [1-5]. Что касается влияния третьих компонентов на свойства алюминиево-магниевых сплавов, то имеется определенный пробел в частности по теплофизическим свойствам.

В рамках данной работы в режиме «охлаждение» исследованы теплофизические свойства сплава AMg4, легированного скандием и лантаном в интервале температур 300-800К. Измерения проводились на установке, описанной в работе [6]. Обработка результатов производилась с применением программ MSExcel и SigmaPlot. Коэффициент регрессии при этом составлял не менее 0,98. Концентрация легирующих элементов в сплав основе составляла от 0,01 до 0,5мас.%. Учитывая температуры плавления и растворимость скандия и лантана в алюминий, их вводили в сплав в виде лигатуры.

Результаты исследования представлены на рис 1 и в таблицах 1-3.

Результаты обработки экспериментов представлены на рис.1. в виде зависимости скорости охлаждения от состава сплавов.

Кривые, относящиеся к сплавам, содержащим скандий и лантан, лежат ниже кривой исходного сплава AMg4. Однако для сплава со скандием характерна более быстрая скорость охлаждения.

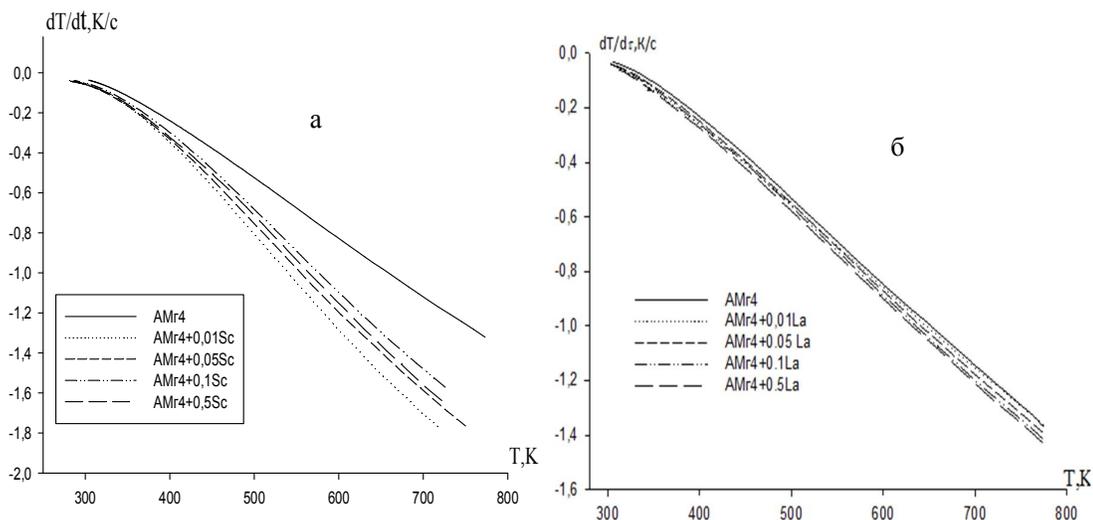


Рисунок 1. Температурная зависимость скорости охлаждения сплава AMg4, легированного скандием [а] и лантаном [б].

Полученные зависимости скорости охлаждения сплавов [рис.1] описываются уравнением вида:

$$T = -a \exp(-b\tau) - p \exp(-k\tau). \quad (1)$$

где  $ab, p, k$  - постоянные для образцов,  $\tau$ -время охлаждения. Значения коэффициентов  $a, b, p, k, ab, pk$  для сплава со скандием приведены в таблице 1.

Дифференцируя уравнение [1], получим

$$\frac{dT}{d\tau} = -ab \exp(-b\tau) - pk \exp(-k\tau). \quad (2)$$

Таблица 1

Значения коэффициентов  $a, b, p, k, ab, pk$  в уравнение [2]

Содержание Sc в сплаве AMg4, мас. %:	a, К	b, $10^{-3}c^{-1}$	p, К	k, $10^{-n}c^{-1}$	ab, $Kc^{-1}$	pk, $Kc^{-1}$
0,0	427,96	3,1	353,12	$9,82 \cdot 10^{-5}$	1,32	0,03
0,01	542,99	4,57	346,83	$1,29 \cdot 10^{-4}$	2,48	0,04
0,05	557,18	4,36	354,99	$1,45 \cdot 10^{-4}$	2,41	0,05
0,1	522,33	4,03	354,94	$1,30 \cdot 10^{-4}$	2,10	0,04
0,5	523,39	4,26	358,25	$1,48 \cdot 10^{-4}$	2,22	0,05

Ввиду того, что в справочной литературе нам не удалось найти данные по теплоемкости сплава AMg4, она была вычислена по правилу аддитивности исходя из значений теплоемкости чистых металлов согласно литературным данным [7] [таблица 2.].

Используя вычисленные по правилу аддитивности теплоемкости сплава AMg4 и экспериментально полученные величины скорости охлаждения, был рассчитан коэффициент теплоотдачи  $\alpha[T]$  [Вт/К·м<sup>2</sup>] для сплава AMg4 по следующей формуле:

$$\alpha = \frac{Cm \frac{dT}{d\tau}}{(T - T_0) \cdot S} \quad [2]$$

где  $m$  и  $S$  – масса и площадь поверхности образца,  $T$  и  $T_0$  – температура образца и окружающей среды, соответственно.

При определении теплоёмкости сплава AMg4, легированного скандием и лантаном, в режиме охлаждения учитывался тот, факт, что коэффициент теплоотдачи не зависит от концентрации скандия и лантана. В связи с этим для расчетов использован коэффициент теплоотдачи сплава AMg4 рассчитанный по правилу аддитивности.

Значения коэффициента теплоотдачи сплава AMg4, рассчитанные по уравнению [2], вместе со значениями скорости охлаждения сплавов, содержащих скандий и лантан [рис.1.], явились исходными для расчета экспериментального значения удельной теплоемкости легированных сплавов по формуле:

$$C_p = \alpha S (T - T_0) / m \frac{dT}{d\tau} \quad [3]$$

Результаты исследования влияния скандия и лантана на удельную теплоемкость сплава АМг4, полученные экспериментально и рассчитанные по правилу аддитивности, представлены в табл.2 и 3.

Как видно из табл. 2 и 3, с ростом содержания скандия и лантана в сплаве АМг4 удельная теплоёмкость уменьшается, а с увеличением температуры повышается.

Таблица 2

Температурная зависимость удельной теплоёмкости [Ср, Дж/кг·К] сплава АМг4, легированного скандием.

Т,К	Содержание Sc в сплаве АМг4, мас. %				
	0,0	0,01	0,05	0,1	0,5
300	753,13	753,10	752,88	752,96	751,21
350	809,16	809,12	808,79	808,94	807,01
400	863,07	863,02	862,55	862,80	860,68
450	914,08	914,03	913,38	913,78	911,48
500	961,43	961,37	960,50	961,09	958,63
550	1 004,36	1 004,29	1 003,16	1 003,98	1 001,37
600	1 042,08	1 042,01	1 040,57	1 041,68	1 038,94
650	1 073,85	1 073,77	1 071,97	1 073,42	1 070,58
700	1 098,88	1 098,80	1 096,58	1 098,43	1 095,53
750	1 116,42	1 116,33	1 113,64	1 115,96	1 113,02
800	1 125,68	1 125,59	1 122,36	1 125,23	1 122,28

Таблица 3

Температурная зависимость удельной теплоёмкости [Дж/кг· К] сплава АМг4, легированного лантаном.

Т, К	АМг4	Содержание La в сплаве АМг4, мас.%							
		0,01		0,05		0,1		0,5	
		1	2	1	2	1	2	1	2
300	753,1	752,9	753,0	752,73	752,85	752,4	752,5	750,4	750,3
350	809,1	809,3	809,1	809,9	808,8	809,0	808,5	806,9	806,0
400	863,0	863,1	863,0	864,0	862,7	863,5	862,4	859,8	859,7
450	914,0	914,7	914,0	913,8	913,7	915,0	913,3	910,4	910,4
500	961,4	961,8	961,3	959,7	961,0	962,2	960,6	958,2	957,5
550	1004,3	1004,3	1004,2	1005,4	1003,9	1003,5	1003,5	1001,1	1000,3
600	1042,0	1042,9	1042,0	1043,6	1041,6	1041,2	1041,2	1037,9	1037,8
650	1073,8	1073,7	1073,7	1073,4	1073,4	1072,9	1072,9	1069,5	1069,4
700	1098,8	1099,0	1098,8	1098,4	1098,4	1097,9	1097,9	1094,4	1094,4
750	1116,4	1116,3	1116,3	1115,9	1115,9	1115,9	1115,8	1111,8	1111,5
800	1125,6	1125,4	1125,6	1125,2	1125,2	1124,8	1124,7	1121,1	1121,1

*1-экспериментально полученные результаты      2- расчетные значения по правилу аддитивности*

Такой характер изменения теплоемкости сплавов объясняется тем, что приращение энергии тепловых колебаний атомов в кристаллической решетке и электронов проводимости приводит к изменению теплоемкости. Подводимая при нагревании к упорядоченному сплаву тепловая энергия увеличивает амплитуду тепловых колебаний атомов, но также вызывает разупорядочение структуры. Поэтому экспериментальное значение удельной теплоемкости сплавов больше теплоемкости, рассчитанной аддитивно из свойств компонентов.

### Литература

1. Диаграмма состояния двойных металлических систем. Справочник: в 3-х т.: Т.1. Под. общ. ред. Н.П. Лякишева. - М.: Машиностроение, 1996.-992с.
2. Лепинских Б.М., Киселев В.И. Об окислении жидких металлов и сплавов кислородом из газовой фазы// Изв. АН СССР. Металлы, 1974. №5. с.51-54.
3. Алиева С.Т., Альтман М.Б., Амбарцумян С.М. и др. Промышленные алюминиевые сплавы: Справ. изд. М.: «Металлургия», 1984, 528 с.
4. Белецкий В.М., Кривов Г.А. Алюминиевые сплавы [состав, свойства, технология, применение]: Справочник / Под общ. ред. акад. РАН, И.Н. Фридляндера. К.: «Коминтех», 2005, 315 с.
5. Захаров А.М. Промышленные сплавы цветных металлов. М.: «Металлургия», 1980, 256 с.
6. Низомов З., Гулов Б.Н. и др. Исследование температурной зависимости удельной теплоемкости алюминия марок ОСЧ и А7.- Доклады АН РТ, 2010. Т. 53, №8 .
7. В.Е. Зиновьев, Теплофизические свойства металлов при высоких температурах/Справ. изд. М.: Металлургия, 1989.-384с.

**С.Ҷ. Иброҳимов, Н.Ф. Иброҳимов, Б.Б. Эшов**

### **ТАЪСИРИ СКАНДИЙ ВА ЛАНТАН БА ХОСИЯТИ ГАРМОФИЗИКИИ ХӮЛАИ АМГ4**

Натиҷаи вобастагии таъғироти гармиғунҷоиши хӯлаи алюминий-магний АМг4 аз ҳарорат, ки бо скандий ва лантан ҷавҳаронида шудааст, пешниҳод мешавад. Вобастагии таъғирёбӣ нишон медиҳад, ки гармиғунҷоиши ҳосси хӯлаи АМг4 бо зиёд намудани миқдори скандий ва лантан дар хӯла паст шуда ва бо баланд намудани ҳарорат зиёд мешавад.

**Калидкалимаҳо:** гармиғузaronӣ, скандий, лантан, хунуккунӣ, гармидиҳӣ, ҷавҳаронидашуда, гармиғунҷоиши хос.

S.Zh. Ibrokhimov , N.F. Ibrokhimov, B.B. Eshov ,

## INFLUENCES OF SCANDIUM AND LANTHANUM ON HEATPHYSICAL PROPERTIES OF AMg4 ALLOY

Results of a research of temperature dependence of a thermal capacity of the aluminum-magnesium Amg4 alloy alloyed by scandium and lanthanum are presented. Dependence of change of specific heat of Amg4 alloy, is characterized by insignificant decrease in process of growth of concentration of scandium and lanthanum in alloy and respectively, increase, at temperature increase.

**Keywords:** thermal conductivity, scandium, lanthanum, the rate of cooling, heat, alloying, the specific heat capacity.

### Сведения об авторах

**Иброхимов Сухроб Жанайдуллоевич**, старший преподаватель кафедры «Безопасность жизнедеятельности и экология» Таджикского технического университета им. акад. М.С.Осими., г. Душанбе, пр. акад. Раджабовых 10. E-mail: suhrob-73@list.ru

**Иброхимов Насимжон Файзуллоевич**, старший преподаватель кафедры «Материаловедение, металлургические машины и оборудование» Таджикского технического университета им. акад. М.С.Осими., г. Душанбе, пр. акад. Раджабовых 10. E-mail: nasimjon@mail.ru

**Эшов Бахтиер Бадалович**, ведущий научный сотрудник Института химии им. В. И. Никитина АН Республики Таджикистан, г. Душанбе, ул. Маяковский 70/5, кв. 26, тел.: 93 488 48 76 , E- mail: ishov1967@mail.ru

**М. Чаманова, Тсюан Тсзингжи, Ш.И. Мирзоев, А. Бадалов**

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ СОСТАВА $Al_{11}Ln_3$ И ЛАНТАНОИДОВ [Ln]

*Полуэмпирическими и расчётными методами определены или уточнены температура и энтальпия плавления лантаноидов и интер-металлидов составов  $\alpha$ - $Al_{11}Ln_3$  и  $\beta$ - $Al_{11}Ln_3$ . Установлено, что закономерности изменения изученных характеристик в зависимости от природы лантаноидов имеют сложный характер с проявлением «тетрад-эффект»-а.*

**Ключевые слова:** температура и энтальпия плавления, лантаноиды, интерметаллиды, закономерности изменения.

Успешное применение многокомпонентных металлических систем в современных областях техники и технологии базируется на знании фундаментальных характеристик отдельных компонентов и продуктов их взаи-модействия. Такие исследования приобретают особую актуальность для металлических систем на основе алюминия, легированных лантаноидами.

Многочисленными исследованиями диаграммы состояния металли-ческих систем, результаты которых обобщены в работе [1], установлено, что в системах алюминия [Al] - лантаноиды [Ln] образуется ряд интерме-таллидов [ИМ] составов  $AlLn_3$ ,  $AlLn_2$ ,  $Al_2Ln_3$ ,  $AlLn$ ,  $Al_2Ln$ ,  $Al_3Ln$   $\alpha$ - $Al_{11}Ln_3$  и  $\beta$ -  $Al_{11}Ln_3$ . В работах [1-4] приведены сведения об температуре плавления всех ИМ и энтальпии образования некоторых ИМ цериевой подгруппы – церия, празеодима и неодима. В литературе во все отсутствуют сведения о энтальпии плавления ИМ, образующихся в системах Al – Ln.

Данная работа является продолжением серии наших исследований [3-8], посвящённых изучению термических и термодинамических характе-ристик интерметаллических систем на основе алюминия с участием редко-земельных элементов. Она посвящена определению термохимических характеристик – температуры плавления  $[T_{пл.}]$ , энтальпии плавления  $[\Delta H_{пл.}]$  интерметаллидов [ИМ] составов  $\alpha$ - $Al_{11}Ln_3$  и  $\beta$ -  $Al_{11}Ln_3$  и индивидуальных лантаноидов, установлению закономерности изменения их в зависимости от природы лантаноидов.

Неизвестные в литературе значения температуры плавления, энталь-пии плавления и образования указанных составов ИМ для лантана [La]\*, гадолиния [Gd] и лютеция [Lu]\* определены методами сравнительного расчёта Карапетьянца М.Х. [9] и разностей Киреева В.А. [10]. Эти данные являются базисными для проведения системного анализа искомым харак-теристик ИМ всего ряда лантаноидов.

Системный анализ проведен с помощью полуэмпирического метода, разработанным Полуэктовым Н.С. с сотрудниками[11]. Метод учитывает индивидуальные особенности электронного строения атомов лантаноидов [Ln] и их влияние на искомую характеристику А [где А -  $T_{пл.}$ ,  $\Delta H_{пл.}$  и ] интерметаллидов. Расчёт [расчёт-1] произведён по следующему корреля-ционном уравнению

$$A_{[AlxLny]} = A_{[AlxLay]} + \alpha N_f + \beta S + \gamma' L_{[Ce - Eu]} [\gamma'' L_{[Tb - Yb]}] \quad [1]$$

где коэффициенты:  $\alpha$  - учитывает доленое влияние 4f – электронов,  $\beta$  – спиновых [S] – и  $\gamma$  - орбитальных [L] моментов движения атомов ланта-ноидов [ $\gamma'$  – для лантаноидов цериевой и  $\gamma''$  – для лантаноидов иттриевой подгрупп] на значения искомой характеристики ИМ.

Значения величины коэффициентов уравнения [1] для расчёта темпе-ратуры плавления ИМ приведены в таблице [1].

Таблица 1

Коэффициенты корреляционного уравнения [1]

Вещество	Свойство	$\alpha$	$\beta$	$\gamma'$	$\gamma''$
Ln	$T_{пл.}, K$	52.5	7.0	-28.1	-10.6

	$\Delta H_{пл.}^0$ , Дж/моль	568.2	59.9	-607.0	-80.0
$\alpha$ -Al <sub>11</sub> Ln <sub>3</sub>	T <sub>пл.</sub> , К	-6,43	0	12,01	12,01
	$\Delta H_{пл.}^0$ , кДж/моль-атомов	0.04	-0.13	0.10	0.11
$\beta$ -Al <sub>11</sub> Ln <sub>3</sub>	T <sub>пл.</sub> , К	7,14	1,43	3,48	3,48
	$\Delta H_{пл.}^0$ , кДж/моль-атомов	0.06	-0.15	0.01	0.02

Наиболее полные сведения по температуре плавления и лантаноидов и ИМ составов  $\alpha$ -Al<sub>11</sub>Ln<sub>3</sub> и  $\beta$ -Al<sub>11</sub>Ln<sub>3</sub> приведены в таблице 2.

Таблица 2

Температура плавления лантаноидов и интерметаллидов  
[а – литература [12,13], б – расчёт 1]

	Ln	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ln	а	1193	1077	1208	1245	1301	1385	1099	1585	1629	1683	1722	1770	1830	1094	1928
	б	1191	1071	1204	1297	1441	1345	1095	1584	1633	1685	1747	1802	1818	1092	1936
$\alpha$ -Al <sub>11</sub> Ln <sub>3</sub>	а	1188	1293	1238	1223	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	б	1188	1221	1229	1234	1228	1209	1116	1143	1166	1184	1189	1193	1164	1090	1098
$\beta$ -Al <sub>11</sub> Ln <sub>3</sub>	а	1513	1508	1513	1508	-	1723	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	б	1513	1510	1510	1507	1501	1491	1394	1468	1465	1463	1456	1447	1439	1378	1413

Эти сведения позволили провести системный анализ указанной характеристики Ln и ИМ с помощью полуэмпирического метода по уравнению [1] и установить закономерности её изменения в зависимости от природы лантаноидов. Кривые закономерности изменения температуры плавления ИМ [рисунок 1[в]] и лантаноидов [рисунок 1[г]] в пределах подгрупп лантаноидов имеют разный характер. Для ИМ состава  $\alpha$ -Al<sub>11</sub>Ln<sub>3</sub> наблюдается чёткое разделение кривой на две подгруппы - цериевой и иттриевой с проявлением тетрад-эффекта. В пределах подгрупп наблюдается постепенное повышение T<sub>пл.</sub> ИМ с максимумом в середине под-групп – у Nd и Er, соответственно. Для ИМ состава  $\beta$ -Al<sub>11</sub>Ln<sub>3</sub> наблюдается линейное понижение T<sub>пл.</sub> с ростом порядкового номера Ln. ИМ европия и иттербия явно выпадают из общей закономерности. Это обусловлено частичным или полным заполнением 4f- орбиталей

этих элементов электронами. Для Ln с ростом порядкового номера наблюдается повышение  $T_{пл}$  металлов. Для церия, европия и иттербия наблюдается отклонение от общей закономерности.

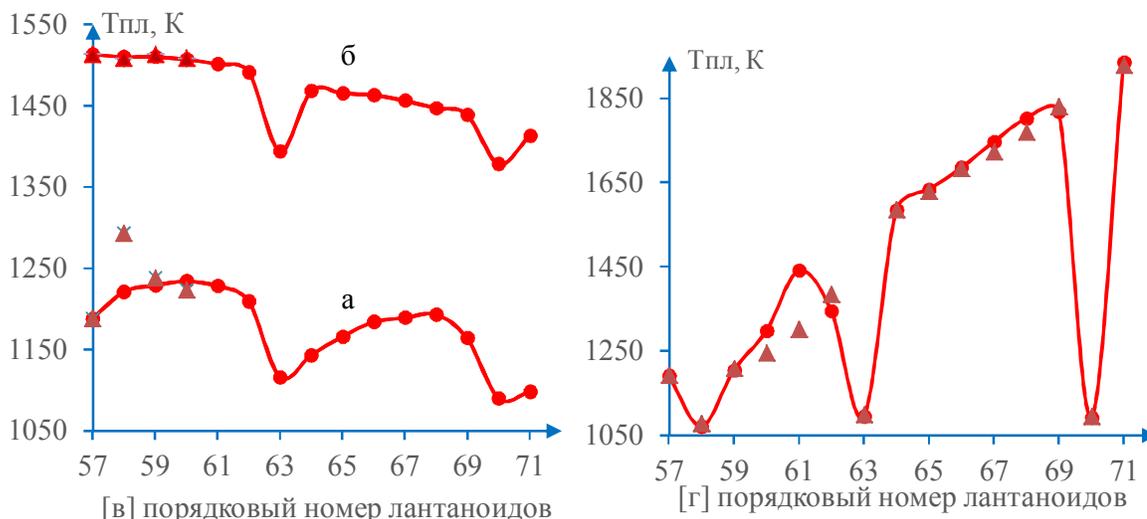


Рисунок 1. Кривые зависимости изменения  $T_{пл}$  ИМ [в] составов  $\alpha$ - $Al_{11}Ln_3$  [а],  $\beta$ - $Al_{11}Ln_3$  [б] и лантаноидов [г] от природы лантаноидов: [▲ - литературные, ● - расчётные].

Полученные и/или уточнённые значения температуры плавления ИМ [табл.1] позволили рассчитать величину энтальпии плавления [ $\Delta H^0_{пл,Т}$ ] ИМ по известной формуле [14] [расчет-2]:

$$\Delta H^0_{пл,Т} Al_xLn_y = T_{пл. ИМ} [n \Delta H_{пл. Ln} / T_{пл. Ln} + m \Delta H_{пл. ме} / T_{пл. ме}] / (n+m) \quad [2]$$

Результаты расчётов приведены в таблице 3. В таблице приведены также использованные при расчётах справочные значения соответствующих характеристик индивидуальных лантаноидов [12].

Таблица 3

Энтальпия плавления [ $\Delta H^0_{пл, кДж/моль-атомов}$ ] лантаноидов и интерметаллидов: [а – литература [12, 15], б – расчёт 1]

Ln	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ln															
а	6.19	5.46	6.89	7.14	7.62	8.62	9.21	10.04	10.79	11.06	17.0	19.0	16.8	7.66	22.0
б	6.20	5.38	6.91	7.20	7.75	8.56	9.21	10.04	10.79	11.11	11.89	13.15	14.87	7.66	18.83
$\alpha$ - $Al_{11}Ln_3$															



Как видно из рисунка 2 [а] и [б], закономерности изменения энтальпии плавления ИМ изученных составов имеют идентичный, симбатный характер в зависимости от природы лантаноидов. В цериевой подгруппе наблюдается повышение энтальпии плавления ИМ состава  $\alpha\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$  в пределах  $\Delta[\Delta H_{\text{пл}}^0 = 0,55]$  с максимумом для неодима. Для ИМ состава  $\beta\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$  этой подгруппы лантаноидов наблюдается почти линейный характер зависимости. В иттриевой подгруппе обоих составов ИМ наблюдается заметное повышение энтальпии плавления в пределах  $\Delta[\Delta H_{\text{пл}}^0 = 0,90]$  с максимумом для эрбия.

Полученные наиболее полные термохимические характеристики по температуре и энтальпии плавления лантаноидов и интерметаллидов составов  $\alpha\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$  и  $\beta\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$  позволили установить закономерности изменения их в зависимости от природы лантаноидов. С ростом порядкового номера лантаноидов наблюдается:

- симбатное повышение температуры и энтальпии плавления для индивидуальных лантаноидов. Для лантаноидов иттриевой подгруппы наблюдается почти двукратное увеличение величины энтальпии плавления по сравнению с металлами цериевой подгруппы;
- антибатное понижение температуры плавления и симбатное повышение энтальпии плавления ИМ изученных составов;
- интерметаллиды состава  $\beta\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$  термически и термодинамически являются более устойчивыми, чем  $\alpha\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$ .

### Литература

1. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Под ред. акад. РАН Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996, 1997, 2001, т.1-3, 992, 1024, 1320 с.
2. Badalov A.B., Ganiev I.N., Nazarov Kh. M., Mirzoev Sh. I. Systematic analysis forecasting of thermal properties of alloy systems Cu-Ln and Al-Ln // IX Inter. Symposium Advanced Materials. Abstracts? ISAM – 2005: 19-22 Sept, Pakistan, Islamabad. – p.50.
3. Бадалов А.Б., Мирзоев Ш.И. Термические свойства сплавов системы алюминий – лантаниды// Вестник Таджикского аграрного университета им. Ш. Шотемура «Кишоварз» - Душанбе, 2005.№1.-с.42-47.
4. Эшов Б.Б., Мирзоев Ш.И., Ганиев И.Н., Бадалов А. Окисление интерметаллидов системы Al-PЗМ. Матер. III междуна. науч.-практ. конф. «Перспективы развития науки и образования в XXI веке», Душанбе, ТТУ, 22-24 мая 2008г. с.212-214.
5. Эшов Б.Б., Мирзоев Ш.И., Нуриддинов Б.Ш., Бадалов А. термические и термодинамические свойства интерметаллидов системы AL –Ln. Тез. докл. XV11 междунар. конф. по хим. Термодинамике в России [RCCT-2009 ]. Казань, 2009, 29 июня- 3 июля, с.116.
6. Эшов Б.Б., Раззози М., Сафаров А.М., Савриев С.О., Бадалов А. Термодинамические свойства интерметаллидов системы алюминий – неодим. Матер. IV междунар. научно-практ. конф. «Перспективы развития науки и образования», Душанбе, ТТУ, 20-22 май, 2010г. С.145-146.

7. Эшов Б.Б., Раззози М., Сафаров А.М., Савриев С.О., Бадалов А. Термодинамические характеристики интерметаллидов системы алюминий – неодим . Вестник ТТУ, 1[9], 2010, с.25-28.
8. Карапетьянц М.Х. Методы сравнительного расчёта физико-химических свойств. – М.: Наука, 1965, 403 с.
9. Киреев В.А. Методы практических расчётов в термодинамике химических реакций. – М.: Химия, 1975, 536 с.
10. Мешкова С.Б., Полуэктов Н.С., Топилова З.М., Данилкович М.М. Гадо-линийевый излом в ряду трёхвалентных лантаноидов. Координационная химия, 1986, т.12, вып.4, с.481-484.
11. Волков А.И., Жарский И.М. Большой химический справочник. Минск: Современная школа, 2005.
12. Cox J.D., Wagman D.D., Medvedov V.A. CODATA Key Values for Thermodynamics, Hemisphere Publishing corp., N.Y., 1989.
13. Баянов А.П., Славкина В.И. Матер. конф., посвященной 100 -летию Всесоюзного химического общества имени Д.И. Менделеева. Новокузнецк, 1969, с. 25-39.
14. Ishov B.B., Razazi M., Badalov A. Physical - chemical and thermodynamic properties of aluminum alloys- cerium J. Materials science research. [India] №1. V.9. 2012. - P.158-163
15. Ishov B.B., Razazi M., Badalov A. Preparation of physical and chemical and thermodynamic properties of aluminum alloys – praseodymium. J. Innova ciencia. V.4, .iss.7. [USA], 2012, p.48-54.

**М. Чаманова, Тсюан Тзингжи, Ш.И. Мирзоев, А. Бадалов**

### **ҚОНУНИЯТИ ТАҒИРЁБИИ ТАВСИРТҲОИ ТЕРМОХИМИЯВИИ ИНТЕРМЕТАЛЛҲОИ ТАРКИБИ $Al_{11}Ln_3$ ВА ЛАНТАНОИДҲО**

Бо усулҳои нимэмпирикӣ ва ҳисобӣ температура ва энталпияи ғудохташавии лантаноидҳо [Ln] ва интерметаллидҳои [ИМ] таркиби  $\alpha-Al_{11}Ln_3$  ва  $\beta-Al_{11}Ln_3$  муайян карда шуданд. Муқаррар карда шуд, ки қонуниятҳои тағирёбии ин тавсиротҳо аз рақами тартибии лантаноидҳо вобастагии мураккаб дорад.

**Калимаҳои калидӣ:** температура ва энталпияи ғудохташавӣ, лантаноидҳо, интерметаллидҳо, қонуниятҳои тағирёбӣ.

**M. Chamanova, Tsyuan Tszingzhi, Sh. I. Mirzoyev \*, A. Badalov**

### **REGULARITIES OF CHANGE OF THERMOCHEMICAL CHARACTERISTICS INTERMETALLID PROPERTIES OF $Al_{11}Ln_3$ I of LANTHANIDES [Ln]**

Semi-empirical and calculation methods have defined and/or specified temperature and an enthalpy of melting of lanthanides and inter-metallid of properties of  $\alpha-Al_{11}Ln_3$  and  $\beta$ -by  $Al_{11}Ln_3$ . It is established that regularities of change of the studied characteristics

depending on the nature of lanthanides have difficult character with manifestation of "tetrads effects".

**Key words:** - temperature and enthalpy of melting, lanthanides, intermetallics, regularities of change.

#### **Сведения об авторах**

**Бадалов Абдулхайр** – 1949 г.р., окончил [1970] МХТИ им. Д.И. Менделеева, док. хим. наук, профессор кафедры «ОиНХ» ТТУ им. акад. М.С. Осими, автор более 500 научных работ, область научных интересов - химическая термодинамика.

**Чаманова Мунира** – 1969 г.р. окончила [2008] ТТУ им. М.С. Осими, соискатель, автор более 15 научных публикаций, область научных интересов - химия сплавов.

**Тсюан Тсзингжи** - окончил магистратуру ТТУ им. М.С. Осими [2013], аспирант кафедры «ОиНХ», автор более 5 научных публикаций.

**Мирзоев Шамсулло Изатович** - 1975г.р., окончил ТАУ им. Ш. Шотемур [1997], к.т.н., доц., зав. каф. «ЭАСХ» ТАУ, автор более 70 научных работ.

**Нуриддини Ф, Р.Д. Боев, П.Т. Салимова**

### **ГЕОХИМИЯ РЕКИ ВАРЗОБ В ТАДЖИКИСТАНЕ**

*Описаны результаты геохимического анализа донных отложений реки Варзоб в Центральном Таджикистане. Особое внимание уделено концентрациям тория, урана и редкоземельным элементам.*

**Ключевые слова:** геохимия, макро- и микро-элементы, донные отложения рек, река Варзоб.

Как и большинство рек Таджикистана - река Варзоб в основном питается притоками, берущими начало высоко в горах, собирая дождевую и талую воду с больших и малых площадей водосбора с горным рельефом, на различных высотах, со смешанным типом питания - ледниково-снеговым или снегово-ледниковым. Качество воды относится к 1-2 классу чистоты.

Бассейн реки Варзоб в геологическом отношении относится к Южногиссарской структурно-формационной зоне Центрального Таджикистана [Южный Тянь-Шань]. Проходящий поперек бассейна Ходжа-Оби Гармский разлом делит район на две подзоны, отличающиеся в геохимическом отношении. Среднее содержание урана и тория в гранитах североварзобского комплекса 3.7 и 18мкг/г, а в южноварзобских гранитах оно несколько выше - 6.5 и 27 мкг/г соответственно.

Следует отметить, что в верховьях ручья Оджук, впадающего в Варзоб, имеется крупное [27.5 км] пегматитовое поле с одноименным названием. Минералы Оджукского поля характеризуются повышенным содержанием урана и тория в составе редкоземельных аксессуарных минералов типа самарскита, гадолинита и т.п. Смыв

таких разрушенных минералов приводит к загрязнению воды и донных отложений реки Варзоб.

Основными техногенными загрязнителями водных ресурсов в Таджикистане являются: промышленность, коммунальное и сельское хозяйство, производящим загрязнение как поверхностных, так и подземных водных ресурсов.

Во времена СССР на территории ущелья реки Варзоб велась активная деятельность, связанная с горнодобывающей и горно-перерабатывающей промышленностью.

Данная работа посвящена изучению геохимического состава донных отложений реки Варзоб и ее притоков.

#### **Методика эксперимента.**

Ученые Таджикистана наряду с учеными Казахстана Узбекистана и Кыргызстана, на протяжении 10 лет принимали участие в большом международном эксперименте «Навруз». Эксперимент проводился под эгидой Сандийской национальной лаборатории США. Основной целью эксперимента являлось изучение чистоты трансграничных рек Центральной Азии и влияния атомной промышленности бывшего СССР на экологию речных бассейнов региона [1].

В ходе эксперимента осуществлялся отбор образцов почв, донных осадков и воды, более подробно методика пробоотбора описана в работах [2,3].

Для проведения элементного анализа в образцах, подготовленные пробы направлялись для проведения нейтронно-активационного анализа [НАА] в Институт ядерной физики Республики Узбекистан. Результаты анализов собирались в Сандийской национальной лаборатории США [4].

В ходе проведения анализов, в образцах донных отложений, были определены концентрации 24 элементов: As, Au, Ba, Ca, Ce, Co, Cr, Cu, Eu, Fe, Hf, La, Lu, Mn, Na, Rb, Sb, Sc, Sm, Tb, Th, U, Yb и Zn. Такие элементы как: Ca, Fe, Mn и Na относятся к классу макроэлементов, остальные к микроэлементам. Места отбора образцов и их географические координаты приведены в таблице 1 и на рисунке 1 изготовленном на основе спутниковых карт, программы [5]. Номера точек соответствуют сквозным номерам эксперимента «Навруз».

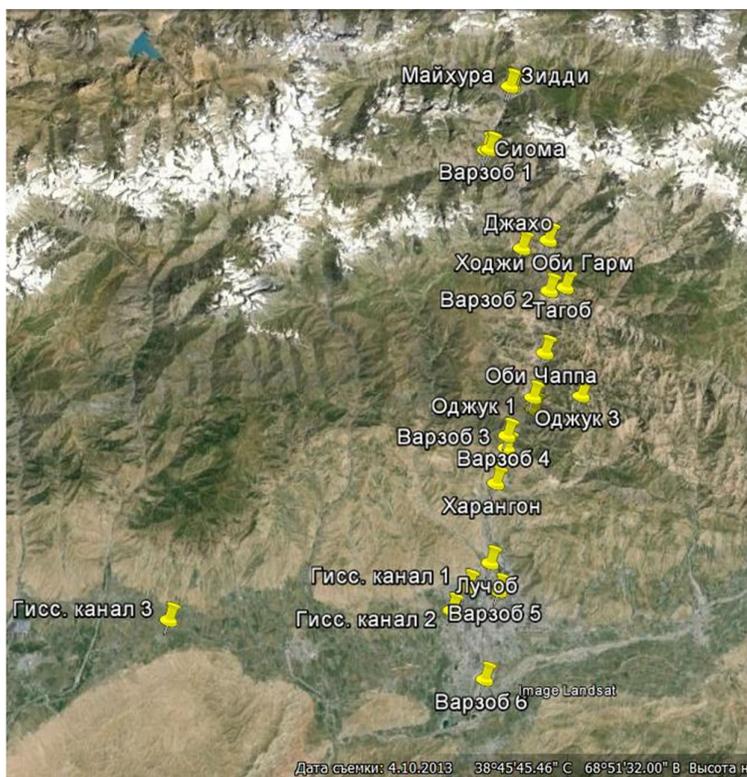
Таблица 1

Точки отбора проб в ущелье реки Варзоб

№	Река	Позиция		Расположение
TJ-24	Зидди	39,0260	68,7875	Пр. р. Варзоб
TJ-23	Майхура	39,0261	68,7852	Пр. р. ВарзобПр. р. Варзоб
TJ-65	Варзоб 1	38,9697	68,7619	Выше р. Сиома
TJ-25	Сиома	38,9683	68,7596	Пр. р. Варзоб
TJ-26	Ходжи Оби Гарм	38,8903	68,8285	Пр. р. Варзоб
TJ-27	Джахо	38,8910	68,8310	Пр. р. Варзоб

TJ-50	Тагоб	38,8497	68,8516	Пр. р. Варзоб
TJ-28	Варзоб 2	38,8471	68,8485	Слияние с Тагоб
TJ-29	Оби Чаппа	38,7899	68,8267	Пр. р. Варзоб
TJ-30	Оджуг 1	38,7532	68,8154	Пр. р. Варзоб
TJ-46	Оджуг2	38,7548	68,8180	ПГТ Варзоб
TJ-47	Оджуг3	38,7460	68,8464	Верхний Оджуг
TJ-1	Варзоб 3	38,7031	68,7901	Дом отдыха «Бофанда»
TJ-48	Харангон	38,6751	68,7755	Пр. р. Варзоб
TJ-49	Варзоб 4	38,6792	68,7695	Слияние с Харангон
TJ-60	Лучоб	38,5976	68,7663	Выше Душанбе
TJ-61	Варзоб 5	38,5817	68,7752	Перед Гисс. каналом
TJ-62	Гисс.канал 1	38,5795	68,7746	Начало канала
TJ-63	Гисс. канал 2	38,5764	68,7544	Душанбе, Караболо
TJ-64	Гисс.Канал 3	38,5503	68,3892	33 км от Душанбе
TJ-2	Варзоб 6	38,5247	68,7718	Нижний мост Душанбе

Сокращения: Пр- приток, р- река.



Рисунка 1. Карта-схема отбора проб[5].

### Заключение

. Проведена обработка ранее полученных данных по геохимии донных отложений реки Варзоб и ее притоков в Центральном Таджикистане.

В самой реке Варзоб и ее верхних притоках наблюдается повышенное содержание кальция. Это связано с наличием известняков, в Гиссарском хребте, в бассейнах рек Зидды и Майхура. Южнее в ручьях, вытекающих из гранитоидов, концентрация кальция резко уменьшается. В ущелье Харангон ведется промышленная добыча известняков для Душанбинского цементного завода, где также увеличивается количество кальция.

Практически во всех точках наблюдения содержание сурьмы и мышьяка превышают их кларковые значения. Южные отроги Гиссарского хребта относятся к Зеравшано-Гиссарскому ртутно-сурьмяному поясу, имеющему ширину до 35 и протяженность до 200 км и обладающему крупным металлогеническим потенциалом по запасам сурьмы. Основным источником мышьяка в реке Варзоб является приток Майхура. Сурьмы больше всего содержится в донных отложениях Зидды и Майхура. Кобальт в основном поставляется притоками Харангон и Ходжи Оби Гарм.

В донных отложениях реки обнаруживает себя геохимическая аномалия, связанная с Оджукским пегматитовым пятном с повышенным содержанием урана и тория в составе редкоземельных акцессорных минералов типа самарскита, гадолинита и т.п. Следы этих минералов прослеживаются в отложениях притоков Оби Чаппа и Оджук. Концентрация урана и тория в донных отложениях этих рек превышает

кларковые значения более чем в 12 раз. Также высока концентрация редкоземельных элементов, превышение над кларком составляет от 2 до 7 раз. Эти притоки активно влияют на элементный состав отложений в среднем течении Варзоба.

### Литература

1. Yuldashev B.S., “Radioecological monitoring of Transboundary Rivers of the Central Asian Region” /Yuldashev B.S., Salikhbaev U.S., Kist A.A., et. al. // *J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. V. 5, № 1, 2005, pp. 219-228.
2. “Руководство по отбору проб воды и донных отложений на станциях мониторинга качества поверхностных вод бассейна Аральскогоморя”, Среднеазиатский научно-исследовательский гидрометеорологический институт им. В.А. Бугаенко [САНИГМИ]. Ташкент, 2000.
3. Джураева А.А., “Исследования, проведенные в рамках проектов «НАВРУЗ»” / Джураева А.А., Абдушукуров Д.А., Давлатшоев Т., и др. // *Ядерная физика в Академии Наук Республики Таджикистан*, [под ред. Абдушукурова Д.А. и Бободжанова И.], ISBN: 978-999-47-988-5-8; Душанбе, 2013, Изд. Эр-грааф, стр. 254-287.
4. Barber D.S. “Radioecological Situation in river Basins of Central Asia, Syrdarya and Amudarya According to the Results of the international project “NAVRUZ”” / Barber D.S., Yuldashev B.S., Radyrkhanov K.R. et. al. // *NATOScience*, 2003, Series IV, V. 33, pp. 39 – 51.
5. Google Earth, [http://Google\\_earth.com](http://Google_earth.com)
6. “Предельно допустимые концентрации [ПДК] химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования”, [2003], *Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03*.
7. Taylor S.R., [1964], Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table, / Taylor S.R. // «*Geochimica et Cosmochimica Acta*», v. 28, pp. 1273-1285.
8. Бахтдавлатов Р.Д. Полезные ископаемые Таджикистана, [www.geoportal-tj.org/images/pi\\_tjk.pdf](http://www.geoportal-tj.org/images/pi_tjk.pdf)

**Нуриддини Ф, Р.Д. Боев, П.Т. Салимова**

### ГЕОКИМИЁИ ДАРЁИ ВАРЗОБ ДАР ТОҶИКИСТОН

Дар мақола натиҷаи таҳлилҳои геохимии тақшинҳои сатҳи дарёи Варзоб дар Тоҷикистони Марказӣ оварда шудаанд. Диққати асосӣ ба концентратсияи торий, уран ва элементҳои камёфт дода шудааст.

**Калимаҳои калидӣ:** геохимия, макро- ва микро-элементҳо, тақшанҳои сатҳи дарё, дарёи Варзоб.

**Nuriddini F, R.D. Boev, P.T. Salimova**

### GEOCHEMISTRY OF VARZOB RIVER IN TAJIKISTAN

Results of geochemical analysis of bottom sediments in Varzobriver of central Tajikistan described. Particular attention was made for distribution of concentrations of thorium, uranium and rare earth elements along the river.

**Key words:** geochemistry, major- and trace-elements, bottom sediments of rivers, Varzobriver.

### Сведения об авторах

**Нуриддини Файз** - старший преподаватель кафедры «Безопасность жизнедеятельности и экология» ТТУ имени академика М.С.Осими;

**Боев Рамазон Дамдорович** - старший преподаватель кафедры «Безопасность жизнедеятельности и экология» ТТУ имени академика М.С.Осими;

**Салимова Парвина Талбаковна** – старший преподаватель кафедры «Безопасность жизнедеятельности и экология» ТТУ имени академика М.С.Осими.

**О.Р. Нуманов<sup>1</sup>, С.А. Шарифов<sup>2</sup>, Д.Х. Худойкулов<sup>1</sup>**

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. г. Душанбе,  
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет [МАДИ]

**О.Р. Нуманов, С.А. Шарифов, Д.Х. Худойкулов**

### **СТРОИТЕЛЬСТВО НОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

*В статье приведены данные о строительстве транспортных тоннелей в Республике Таджикистан, которые расположены в 8-9 балльных зонах сейсмичности.*

**Ключевые слова:** сейсмостойкость, строительство, тоннель, автомобильный тоннель, железнодорожный тоннель, требования к проектированию и строительству.

Правительство Республики Таджикистан в настоящее время уделяет особое внимание для реализации проектов по строительству автомобильных и железных дорог и транспортных сооружений с целью осуществления транзитных перевозок по территории Республики Таджикистан.

Перевозки автомобильным транспортом из центра в северную часть республики из-за закрытия в зимний период Анзобского и Шахристанского перевалов и отсутствия альтернативной дороги, в советский период развития, полностью прекращались. Коренные преобразования претерпело дорожное хозяйство республики в годы независимости. Бурными темпами развивается строительство и реабилитация автодорог, а также тоннелей, позволяющих обеспечить круглогодичную связь центра республики со всеми регионами.

Наиболее опасными в Таджикистане считались перевалы «Анзоб», «Шахристан» и «Хабуробод». В зимний период движение автотранспорта прекращалось на 5-6 месяцев [Фото 1].



Фото 1. Перевал «Анзоб» на участке «Шодмондара». Высота снежных лавин 15-22м.

Для круглогодичной автомобильной связи между севером и югом республики в 1982г. было начато строительство тоннеля «Анзоб», проектированный специалистами проектного института «Гидроспецпроект» г. Москвы.

До 1992г. проходческие работы были выполнены на 700п.м. со стороны северного портала строителями треста Минтрансдорхоза Республики Таджикистан и Нурукского СУ треста «Союзгидроспецстрой».

После распада СССР работы были приостановлены и только с мая 1999г. продолжили строительство тоннеля «Анзоб» таджикские специалисты - Госкомпания «Нурафзо».

Таблица 1

Проходческие работы

Наименование тоннеля	Протяженность, в м	Ед. изм.	До 1999 года	В 1999 году	В 2000 году	В 2001 году	В 2002 году	В 2003 году	С начала строительства
АДТ	5050,0	п. м.	337,4	36,9	208,0	211,2	440,8	417,4	<b>1651,7</b>
ВДТ	5050,0	п. м.	324,0	165,0	301,6	325,7	337,7	228,1	<b>1682,1</b>
Сбойка	620,0	п. м.	38,0	19,0	51,2	37,1	46,5	19,3	<b>211,1</b>
Всего:	10720,0	п. м.	699,4	220,9	560,8	574,0	825,0	664,8	<b>3544,9</b>

Тоннель «Анзоб» состоит из двух параллельных тоннелей, автодорожный тоннель [АДТ] и вентиляционно-дренажный тоннель [ВДТ]. Эти тоннели соединяет между собой сбойка, которая может служить в качестве обходной дороги во время аварии или пожара.

Тоннель «Анзоб» расположен в сложных инженерно-геологических, гидрологических условиях с различными физико-механическими свойствами горных пород.

В 2004г. строительством тоннеля «Анзоб» занимаются иранские специалисты фирмы «Собиринтернейшнл», которые выиграли международный тендер. По договору срок сдачи объекта был назначен 20 месяцев. Проходческие работы велись со стороны обоих порталов на двух тоннелях [АДТ и ВДТ] с опережением через сбойки. Это привело к сокращению срока проходческих работ и бетонирования отделки тоннелей.

В целях безопасности движения автотранспорта на всей протяженности АДТ расположены камеры безопасности длиной 10м – шириной 2,5м и высотой 2,8м вглубь слева или справа от движения [через каждые 600м], ниши [через 60м] и площадки аварийной остановки транспорта длиной 50м и шириной 2,5м [через 600м].

Толщина отделки тоннелей в пределах свода 50см, а на опорной части 77см. Тоннель расположен на 8-балльной сейсмически активной зоне республики.

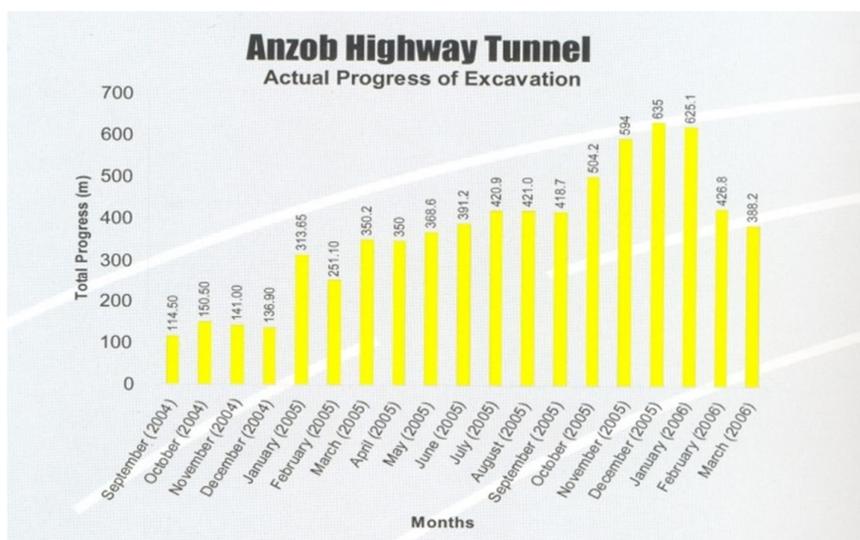


Схема 1. График проходческих работ тоннеля «Анзоб» иранскими специалистами фирмы «Собиринтернейшнл» за 2004-2006 гг.

Как видно из графика, максимальный показатель проходческих работ на декабрь месяц 2005г. составляет 635м. Этот показатель является рекордом проходческих работ на транспортных тоннелях РТ. За 19 месяцев пройдено 7001,55м или в среднем 368.5м за месяц. 8 марта 2006 года были закончены проходческие работы тоннеля «Анзоб», а 26 июля 2006г. была церемония открытия тоннеля «Анзоб» и этот тоннель был переименован Президентом Республики Таджикистан Эмомали Рахмоном на «Истиклол».

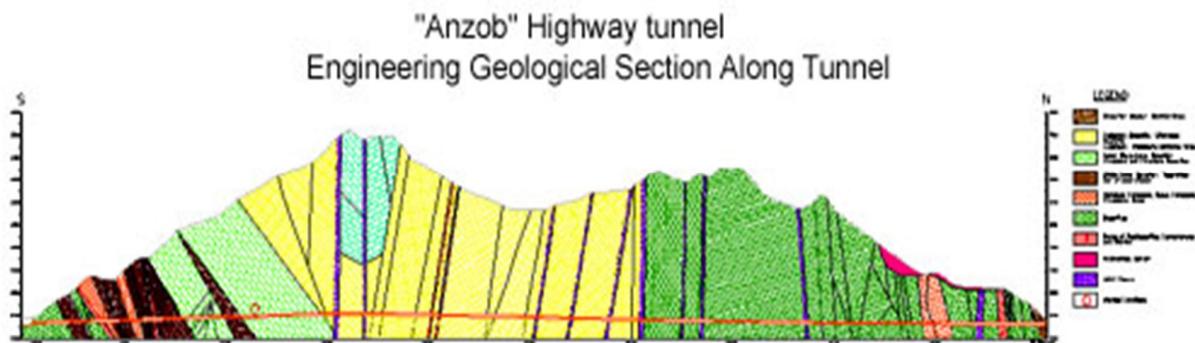


Схема 2. Геологический разрез тоннеля «Истиклол».

Схема 1 и 2 заимствованы с Иранской строительной фирмы «Собиринтернешнл».

Информация об автодорожных тоннелях «Дустй», «Озодй» «Шахристан» и «Хатлон» приведена в табл. 2.

Необходимо отметить, что до 2016г. в Республике Таджикистан функционировали 5 автодорожных тоннелей.

В 2016 году были введены в эксплуатацию сразу три железнодорожных тоннеля, которые стали первыми железнодорожными тоннелями в РТ.

Железная дорога имеет большое значение для экономики Республики Таджикистан, 75% международных перевозок осуществляется железнодорожным транспортом, национальным оператором железнодорожных перевозок является ГУП «Рохи охани Тоҷикистон». Приоритетным направлением является обеспечение развития внутренней железнодорожной связи для последующего выхода в соседние страны.

Для строительства железнодорожных тоннелей и мостов на новой железной дороге «Душанбе-Курган-тюбе» на участке Вахдат-Яван с целью ускорения строительных работ привлечены специалисты «Группа компаний 19» из Китайской Народной Республики.

Строительство данного участка железной дороги Вахдат-Яван проходит по трём районам – Вахдат – Рудаки - Яван, которые имеют 9 и 8 балльную сейсмичность района.

В 2016 завершено строительство железной дороги «Душанбе-Курган-тюбе» на участке Вахдат-Яван протяжённостью 40,7 км, для соединения центрального и южного участков Таджикской железной дороги, который строит дочернее предприятие ГУП «Рохи охани Тоҷикистон» - «Рохсоз», созданное в 2010 году.

Длина тоннеля «Хулбук»-2210 м [на границе районов Рудаки-Яван] через перевал Султанабад, длина тоннеля «Тахти сангин»-635 м и длина тоннеля «Балх»-800 м [в Яванском районе]. Общая длина 3-х железнодорожных тоннелей составляет 3645 м.

Начало проходческих работ на железнодорожных тоннелях- 15 мая 2015 г., а их сдача в эксплуатацию август 2016г., т.е. за 15 месяцев- 3755м или 250 п. м проходки за месяц. Это большая скорость проходки в тоннелестроении Республики Таджикистан.

При выборе трассы тоннельного перехода предусматривали заложения тоннеля вне зоны тектонических разломов в одинарных по сейсмической жесткости грунтах.

При расчётной сейсмичности 8 и 9 баллов обделку железнодорожных тоннелей проектировали замкнутой. Для компенсации продольных деформаций обделки устроены антисейсмические деформационные швы, конструкция которых должна допускать смещение элементов обделки и сохранение гидроизоляции.

Транспортные тоннели в сейсмических районах необходимо строить при соблюдении требований СНиПов и других нормативных документов. В проектах производства работ должны быть предусмотрены методы контроля качества работ, обеспечения проектной прочности бетона, устройства сварных стыков, арматуры и закладных деталей и др. При производстве тоннельных работ необходимо вести тщательные наблюдения за характером и изменением инженерно-геологических условий по трассе тоннеля, фиксируя виды пород, число, ориентацию и ширину раскрытия трещин на участках повышенной трещиноватости, сложенных породами ослабленной прочности [1].

Необходимо отметить, что железнодорожные тоннели спроектированы и построены с учётом требований норм Республики Таджикистан, стран СНГ и КНР. Проектирование и строительство осуществляют специалисты «Группа компаний 19» из Китайской Народной Республики.

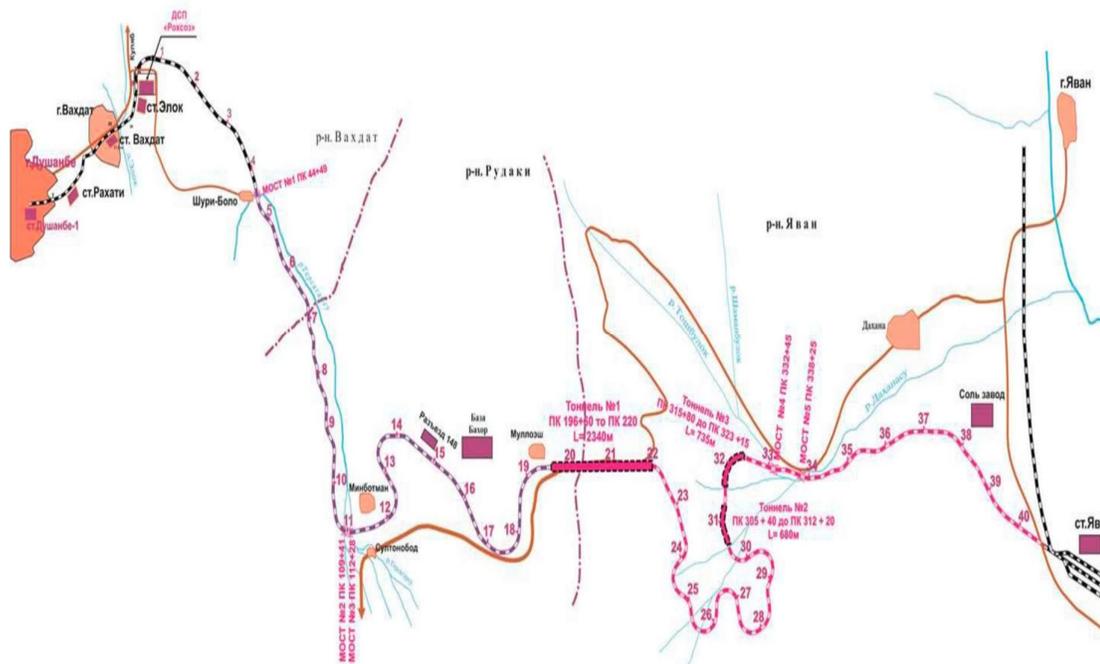


Схема 3. Схема новой железной дороги «Душанбе-Курган-тюбе» на участке «Вахдат-Яван».

Общая стоимость проекта по строительству железной дороги Вахдат-Яван, протяжённостью 40,7 км оценивается в 190 млн долл. США. Размер китайского кредита около 60 млн долл. США.

Необходимо отметить, что проектирование, строительство, ремонт и содержание зданий и транспортных сооружений в Средней Азии, и особенно в Республике Таджикистан, проводится с учётом местных характеристик района строительства, особенно сейсмостойкости, просадочности грунтов и рельефа горной местности.

Задачи проектирования, строительства, ремонта и содержание зданий и транспортных сооружений осложняется этими тремя характеристиками местности. Поэтому задача строительства усложняется по сравнению с обычными характеристиками местности строительства с одной стороны, и увеличивается стоимость проектирования и строительство с другой стороны.

Транспортные сооружения в сейсмических районах необходимо строить при соблюдении требований СНиПов и других нормативных документов. В настоящее время Комитетом по архитектуре и строительству при Правительстве Республики Таджикистан до 2010 г. выпущены более 31 СНиПа, в том числе МКС ЧТ 22-07-2007 «Сейсмостойкое строительство» на государственном таджикском и русском языках.

Существуют специальные требования к проектированию транспортных сооружений при расчетной сейсмичности 7,8 и 9 баллов:

- проекты тоннелей и мостов длиной более 500 м разрабатывают исходя из расчетной сейсмичности, устанавливаемой по согласованию с утверждающей проект организацией, с учетом данных специальных инженерно- сейсмологических исследований;
- расчетная сейсмичность для тоннелей и мостов длиной не более 500 м и других искусственных сооружений на железных и автомобильных дорогах I- III категорий, а также на скоростных городских дорогах и магистральных улицах принимается равной сейсмичности площадок строительства, но не более 9 баллов;
- расчетная сейсмичность для искусственных сооружений на железных дорогах IV-V категорий, на железнодорожных путях промышленных предприятий и на автомобильных дорогах IV, Шп и IVn категорий, а также для насыпей, выемок, вентиляционных тоннелей на дорогах всех категорий принимается на один балл ниже сейсмичности площадок строительства.

При выборе трассы тоннельного перехода необходимо предусматривать заложение тоннеля вне зон тектонических разломов в однородных по сейсмической жесткости грунтах.

При прочих равных условиях следует отдавать предпочтение вариантам с более глубоким заложением тоннеля.

Для участков пересечения тоннелем тектонических разломов, по которым возможна подвижка массива горных пород, при соответствующем технико-экономическом обосновании необходимо предусматривать увеличение сечения тоннеля.

При расчетной сейсмичности 8 и 9 баллов обделку тоннелей следует проектировать замкнутой. Для тоннелей, сооружаемых открытым способом, следует применять цельно-секционные сборные элементы. При расчетной сейсмичности 7 баллов обделку горного тоннеля выполняют из набрызг- бетона в сочетании с анкерным креплением.

Таблица 2

## Транспортные тоннели РТ

№ п/п	Название тоннелей	Тип тоннелей	Место расположение тоннелей	Общая длина	Длина АДТ	Длина ВДТ	Длина ЖДТ	Год сдачи в эксп.
1	«Истиклол»	АД	На перевале «Анзоб»	9990	4995	4995	-	2006
2	«Дустй»	АД	На 61 км а/д Душанбе-Худжанд	1047	1047	-	-	2008
3	«Озодй»	АД	На перевале «Шар-шар»	2224	2224	-	-	2009
4	«Шахристан»	АД	На перевале «Шахристан»	10506	5253	5253	-	2012
5	«Хатлон»	АД	На перевале «Чормагзак»	4445	4445	-	-	2013
6	«Хулбук»	ЖД	На перевале «Султанабад»	2210	-	-	2210	2016
7	«Тахти сангин»	ЖД	В Яванском р-не	635	-	-	635	2016
8	«Балх»	ЖД	В Яванском р-не	800	-	-	800	2016
	Всего:			31857	17964	10248	3645	

Таким образом, в годы независимости Республики Таджикистан с вводом в эксплуатацию транспортных тоннелей и мостов возможности транспортных перевозок грузов будет способствовать выходу республики из коммуникационного тупика.

## Литература

1. Гаскин В.В., Снитко А.Н. Сейсмостойкость зданий и сооружений: Учебное пособие. - Иркутск: ИПИ, 1983,- 72 с.
2. Гаскин В.В., Снитко А.Н., Соболев В.И. Динамика и сейсмостойкость зданий и сооружений. Монография в трех томах. Иркутск: Изд-во Иркутского университета. 1992.
- 3.И. Я. Дорман Сейсмостойкость транспортных тоннелей. - М.: ТИМР, 2-е доп. и перераб. изд., 2000. 307с.

4.Завриев К.С. и др. Основы теории сейсмостойкости зданий и сооружений,- М.: Стройиздат, 1970,- 224 с.

5.Окомото Ш. Сейсмостойкость инженерных сооружений/ Пер. с англ. - М.: Стройиздат, 1980,- 342 с.

**О.Р.Нуманов, С.А. Шарифов, Д.Х. Худойкулов**

### **СОХТМОНИ НАҚБҲОИ НАҚЛИЁТИИ НАВ ДАР МИНТАҚАҲОИ ЗАМИНЛАРЗАИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН**

Дар мақола оид ба сохтмони нақбҳои нақлиётии нави Ҷумҳурии Тоҷикистон, ки дар минтақаҳои заминларзаи 8-9 балла ҷойгиранд, маводҳо оварда шудаанд.

**Калидвожаъо:** Заминларза, сохтмон, нақб, роҳи автомобилгард, роҳи оҳан, талаботҳои меъёрҳои лоиҳакашӣ ва сохтмон

**O.R. Numan, SA Sharifov, D.H. Khudoqulov**

### **CONSTRUCTION OF NEW TRANSPORT TUNNEL IN SEISMIC AREAS OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN**

The article presents data on the construction of transport tunnels in the Republic of Tajikistan, which are located in zones 8-9 point earth quake.

**Keywords:** Earthquake, construction, tunnel, road, railway, the design and construction requirements.

#### **Сведения об авторах**

**Нуманов О.Р.** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство дорог, сооружений и транспортных коммуникаций» Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими. Контактный телефон - 992-985-471-555. [E-mail-nor5@mail.ru](mailto:mail-nor5@mail.ru);

**Шарифов Синбод Амзаалиевич** - аспирант кафедры «Мосты и транспортные тоннели» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета [МАДИ] [E-mail-sim8907@mail.ru](mailto:E-mail-sim8907@mail.ru).

**Худойкулов Далерджон Хайдаркулович** - соискатель кафедры «Строительство дорог, сооружений и транспортных коммуникаций» Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими. Контактный телефон - 992-985-878-737. [E-mail-daler\\_290900@mail.ru](mailto:mail-daler_290900@mail.ru).

А.С. Фохаков, Б.Т. Камолидинов, А.С. Сайдалиев

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА РЫНКА ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ ГОРОДА ДУШАНБЕ

*В статье рассматриваются теоретические основы формирования и развития ресурсного потенциала рынка транспортных услуг города Душанбе. Анализированы и предложены мероприятия по совершенствованию процесса транспортного обслуживания населения в услугах пассажирского транспорта города Душанбе.*

**Ключевые слова:** городской пассажирский транспорт, дорожной сети, городских маршрутов, пассажирских перевозок, безопасность пассажирских перевозок.

Управление городского пассажирского транспорта осуществляет диспетчерскую службу ГКУ «Душанбенаклиётхадамотрасон» через 93 контрольно-диспетчерских пункта с 161 штатной единицей. Основными его функциями являются: подготавливать предложения, связанные с пассажирскими перевозками; участвовать в подготовке и реализации транспортной политики города, программы формирования и развития пассажирских перевозок в столице и обеспечении безопасности пассажирских перевозок; в рамках своих полномочий обеспечивать выполнение Постановлений Председателя города Душанбе по транспортному комплексу; подготавливать схемы и паспорта маршрутов и на их основе анализировать маршрутную сеть города; постоянно проводить логические наблюдения для обнаружения недостатков в работе пассажирского транспорта; своевременно устранять имеющиеся недостатки в работе пассажирского транспорта и информировать руководство об их выполнении; обеспечивать обработку поступающей информации, анализировать их в целях интеграции проектов, контроля и регулирования систем управления; постоянно анализировать работу коммунальных транспортных предприятий и частных предприятий, за которыми закреплены городские маршруты по перевозке пассажиров, определять эффективные пути развития отрасли; информировать население города о режиме работы городского транспорта, об открытии новых маршрутов и их закрытии; постоянно анализировать ситуацию в транспортном комплексе для выявления эффективных путей их развития, подготавливать предложения по улучшению работы городского пассажирского транспорта; обеспечивать постоянное наблюдение за выполнением Постановлений и решений Председателя города Душанбе, касающихся транспортного комплекса со стороны отделов, коммунальных транспортных предприятий и частных предприятий, за которыми закреплены городские маршруты по перевозке пассажиров; рассматривать жалобы и предложения горожан о работе городского пассажирского транспорта.

Контроль за работой подвижного состава на линии производится отделом контроля и безопасности ГКУ «Душанбенаклиётхадамотрасон» с 23 штатными единицами. В перевозочном процессе в городе Душанбе участвует 21 транспортное предприятие: из них 4 государственных, 5 акционерных обществ и 12 частных.

Наиболее крупными транспортными предприятиями, осуществляющими городские пассажирские перевозки в городе Душанбе, являются: Коммунальное

государственное унитарное предприятие «Автобус 1» имеет 308 единиц подвижного состава малого, среднего, большого и особо большого класса; Коммунальное государственное унитарное предприятие «Автобус 2» имеет 107 единиц автобусов малого класса; Коммунальное государственное унитарное предприятие «Автобус 3» имеет 115 единиц особо малого и малого класса; Государственное коммунальное унитарное предприятие «Троллейбус» имеет 164 единицы подвижного состава большого класса.

На балансе частных и арендных транспортных предприятий 2300 легковых автомобилей и микроавтобусов.

Согласно статистическим данным Государственного коммунального учреждения «Душанбенаклиётхадамотрасон» в настоящее время для перевозки пассажиров организовано 11 троллейбусных маршрутов, 18 городских автобусных и 31 маршрутный таксомотор, по которым работают микроавтобусы в режиме маршрутных такси. Общая протяженность городской маршрутной сети составляет 729.3 км.

Наряду с государственно-коммунальными транспортными предприятиями в перевозке пассажиров в городе Душанбе участвуют транспортные предприятия, принадлежащие частным лицам и организациям другой формы собственности.

На балансе государственных предприятий имеются 694 единицы подвижного состава различной пассажировместимости. В остальных предприятиях на договорной основе сконцентрировано 2300 единиц подвижного состава особо малой вместимости. Информация о наличии подвижного состава приведена в таблице 1.

Таблица 1

Наличие транспортных средств, перевозящих пассажиров в городе Душанбе

№ п/н	Марка подвижного состава	Количество автобус шт.	% от количество автобусов	Вместимость по паспорту, пасс.	Провозная возможность	% по провозной возможности
1.	ИКАРУС-280	35	1,17	162	5670	7,30
2.	ЛИАЗ-5256	195	6,51	116	22620	29,13
3.	ПАЗ	153	5,11	45	6885	8,87
3.	Троллейбус	164	5,48	116	19024	24,50
4.	Тайху-6751	72	2,40	50	3600	4,64
5.	ГАЗЕЛЬ	172	5,75	14	2406	3,10
6.	Хундай	2020	67,47	8	16160	20,81
7.	Чанху	183	6,11	7	1281	1,65
Итого по городу		2994	100,0	26,30	77648	100,00

В работах [2,6,7] приведены расчетная вместимость подвижного состава и средний объем выполняемых пассажирских перевозок подвижными составами для городов второй группы.

Таблица 2

Группа города по населенности, тыс. человек	Вместимость требуемого подвижного состава, пасс-мест	Средний объем выполненных пассажироперевозок, %
2 – группа  500 – 1000	35	15
	90	65
	160	20

На основании данных таблицы 1 составляем сводную таблицу по классам автобусов и легковых автомобилей.

Таблица 3

Класс автобусов	Количество	Удельный вес, %	Провозная возможность	Удельный вес, %
Особо малые	2192	79,32	18568	23,91
Малые	225	7,51	10485	13,50
Средние	-	-	-	-
Большие	359	12,00	41644	53,63
Особо большие	35	1,17	5670	7,31
Легковые автомобили такси	183	6,11	1281	1,65
Всего	2994	100	77648	100

Сравнивая данные таблицы 3 с нормативными для крупных городов, можно сделать вывод, что особо малый класс автобусов в 2-3 раза больше от нормативного, средних классов автобусов не имеются, не хватает также особо больших автобусов.

Численность населения города Душанбе имеет темп роста. Средняя дальность поездки одного пассажира имеет тенденцию уменьшения. Это свидетельствует о том, что население пользуется транспортом даже на короткие расстояния и увеличивается доход на душу населения.

Для проверки достоверности отчетных статистических данных определяем подвижность населения различными методами. Основой для разработки мероприятий по совершенствованию процесса транспортного обслуживания населения является информация об особенностях формирования общей и транспортной подвижности населения, о величине и направлении пассажиропотоков, их изменении в пространстве и времени.

Существенное влияние на передвижение людей оказывают: уровень развития общественного производства, социальная структура общества; уклад жизни; географическая среда и характер расселения; развитие техники; информация и связь; бюджет свободного времени; культурно-бытовые и общественные запросы людей.

Проведенные отечественными и зарубежными учеными исследования показали, что подвижность населения как количественная мера передвижений зависит: от

социально-культурного уровня перемещающихся жителей, от пространственно-временных характеристик, зон их проживания и работы, доходов.

Оценку потребности населения в услугах пассажирского транспорта города Душанбе определяем по следующей методике.

1. Метод определения потребности в услугах пассажирского транспорта в зависимости от численности населения города.

Показатель транспортной подвижности городского населения  $P_{тр}$  измеряется числом поездок на городском пассажирском транспорте в расчете на одного жителя за год.

$$P_{тр} = Q / N_{нас}, \quad [1]$$

где  $[Q$  — годовой объем перевозок городского пассажирского транспорта, тыс. пасс.;  $N_{нас}$  — численность населения города, тыс. чел]

В работах И.В. Спирина [1 и 2] и Д.С. Самойлова [6] приведена общая классификация городов по численности населения и транспортная подвижность населения. При отсутствии конкретных данных о транспортной подвижности населения используют укрупненные нормативы по группам городов. Тогда в зависимости от группы городов транспортная подвижность населения  $P_{тр}$  составляет число поездок на одного жителя в год:

Таблица 4

Классификационная группа городов		Численность населения, тыс.	Транспортная подвижность Птр. - число поездок в год на 1 пасс.	Коэффициент, учитывающий долю приезжих
Города гиганты		Свыше 2000	750 ... 820	1,1
Крупнейшие города	I	1001 - 2000	650 ... 750	1,2
	II	501 - 1000	500 ... 650	1,3
Крупные	III	251 - 500	400 ... 500	1,5
Большие	IV	101 - 250	300 ... 400	1,4
Средние	V	51 - 100	250 ... 300	1,1
Малые		50 и менее	150 ... 250	1,07

Город Душанбе с населением более 706,1 тыс. жителей [на 01.01.2014 года] относится к категории крупнейших городов группы II с нормой транспортной подвижности в пределах от 500 до 650 поездок на одного жителя в год. Для дальнейших расчетов принимаем усредненное значение 575 поездок на одного жителя в год.

Расчетным путем определяем годовую потребность в услугах пассажирского транспорта города Душанбе:

$$Q = P_{тр} * N_{нас} = 575 * 706.1 = 406 \text{ млн. пасс}$$

При расчете потребности населения города в перевозках следует учитывать приезжих. При отсутствии конкретных данных применяется нормативный коэффициент из таблицы 7. Учитывая географическое расположение города Душанбе и его статус как столицы, потребность населения города с учетом приезжих определяем.

$$Q_{\text{прж}} = P_{\text{тр}} * N_{\text{нас}} = 575 * 706.1 * 1,3 = 527.8 \text{ млн. пасс}$$

2. Метод определения потребности в услугах пассажирского транспорта в зависимости от занятости населения города.

Метод определения потребности в услугах пассажирского транспорта города Душанбе в зависимости от его занятости приведен по методике А.Т. Таранова [3]. Население города распределяется на группы в зависимости от занятости и для каждой группы устанавливается возможное количество поездок в течение года.

Количество поездок для рабочих и служащих может быть определено из расчета рабочих дней в году 230, тогда работающие совершают 460 трудовых поездок в год. Для студентов ВУЗов и учащихся средне - специальных учреждений 243 дня и 486 поездок. Кроме этого, каждый работник и студент в год совершает 120 – 180 культурно-бытовых поездок. Неработающая часть населения совершает в год 350 – 400 поездок.

На 1 января 2014 года по статистическим данным численность работающих в городе Душанбе составляла 145000 человек, студенты ВУЗов и учащихся средне-специальных учебных заведений 105300 человек. Численность трудоспособного населения города составляет 447200 человек.

Определяем потребность в услугах пассажирского транспорта города Душанбе в зависимости от его занятости:

$$Q = 145000 * [460 + 150] + 105300 * [486 + 150] + [447200 - 145000 - 105300] * 375 = 229.2 \text{ млн. пасс}$$

Объем потребности в услугах пассажирского транспорта города Душанбе в зависимости от его занятости с учетом приезжих.

$$Q = 229.2 * 1,3 = 298.0 \text{ млн. пасс}$$

3. Метод определения потребности в услугах пассажирского транспорта в зависимости от возрастного состава населения города.

Оценка потребности в услугах пассажирского транспорта города Душанбе на основе возрастного состава населения. Выборочными наблюдениями установлено, что транспортная подвижность населения городов изменяется в значительных пределах в зависимости от возрастного состава жителей. Данный метод определения подвижности описан А.Т. Тарановым [3].

Количество поездок одного жителя в течение года в зависимости от возраста жителей города показано в таблице 5.

Таблица 5

Численность населения города Душанбе по возрастам

Возраст	Примерное количество поездок в течение года	Среднее количество поездок в год	Количество жителей Душанбе по возрастам	Объем перевозок пассажиров в г. Душанбе по возрастам
До 10 лет	От 75 до 100	80	150900	12072000
От 11 до 20 лет	От 101 до 500	350	146500	51275000
От 21 до 30 лет	От 501 до 1500	1200	143000	171600000
От 31 до 40 лет	От 901 до 1500	1000	101600	101600000
От 41 до 50 лет	От 701 до 900	800	82600	66080000
От 51 до 60 лет	От 501 до 700	600	44600	26760000
От 61 до 70 лет	От 351 до 500	400	17600	7040000
Свыше 70 лет	От 151 до 350	200	19300	3860000

Определяем потребность в услугах пассажирского транспорта города Душанбе в зависимости от возраста населения с учетом приезжих пассажиров:

$$Q = [12072000+51275000+171600000+101600000+66080000+ 26760000+7040000+ +7040000]*1,3= 440287000*1,3=572.3 \text{ млн пасс.}$$

Расчетный объем потребности в услугах пассажирского транспорта города Душанбе в зависимости от: категории городов с учетом приезжих пассажиров 527.8 млн. пасс; занятости населения с учетом приезжих пассажиров 298.0 млн. пасс; возраста населения с учетом приезжих пассажиров 572.3 млн. пасс имеют большое отклонение от статистических данных [90.8 млн. пасс.], что свидетельствует о неполном удовлетворении потребности населения в перевозках и отсутствии учета работы негосударственного [частного и арендного] транспорта на городских маршрутах.

Основной проблемой является замена парка подвижного состава. Фактически все городские автобусы имеют истекший срок службы. У транспортных предприятий города нет капитала на замену этих автобусов. Для осуществления замены потребуется содействие Хукумата в импорте новых/подержанных транспортных средств и предоставление их частному сектору на условиях лизинга.

В сфере городского пассажирского транспорта общего пользования имеются следующие недостатки: перенасыщение пассажирского парка транспортными средствами особо малой вместимости; отсутствие билетной системы оплаты за проезд и, как следствие, плохой сбор и сдача выручки; ограниченный доступ к услугам транспорта общего пользования [за счет сокращения или прекращения обслуживания маршрутов города с низким уровнем пассажиропотока]; малое количество подвижного состава большой вместимости [автобусами и троллейбусами], соответствующего статусу классу города Душанбе; недостаточный уровень развития электротранспорта; не соблюдается регулярность движения; несвоевременное обслуживание пассажиров на отдельных маршрутах и в целом по городу; неудовлетворительное качество автодорог,

низкое качество горюче-смазочных материалов и чрезмерная перенасыщенность автотранспортом дорог города привело к ухудшению экологии города; недостаточный контроль над соблюдением графика работы водителей со стороны уполномоченных органов привел к снижению транспортной дисциплины среди перевозчиков. Необходимо усиление контроля за деятельностью частных перевозчиков; транспортное хозяйство города изношено более чем на 40 %; уклонение от уплаты налогов – частные владельцы автобусов и микроавтобусов уклоняются от уплаты налогов, легковые такси попросту работают незаконно без лицензий; низкие размеры штрафных санкций – перевозчики, уклоняющиеся от уплаты налогов или работающие без лицензии, подвергаются минимальным штрафам; дебиторская задолженность предприятиям пассажирского транспорта со стороны государственных организаций остается невыплаченной; плата за лицензию на осуществление перевозок должна способствовать развитию городского транспорта.

Стимулирование услуг частного сектора может быть эффективным способом повышения эксплуатационной эффективности, но такое стимулирование должно происходить в рамках и в поддержку общей стратегии. Если пассажиры, пересаживающиеся на микроавтобусы с электрического транспорта, рассматривались как увеличивающие операционные субсидии, необходимые этим видам, за счет практически полного тарифа, которые они должны платить на них, перевозки микроавтобусами могли бы быть структурированы совершенно другим образом.

### **Литература**

- 1.Спирин И.В. «Организация и управления пассажирскими автомобильными перевозками» - Москва ИЦ «Академия», 2005г.
- 2.Спирин И.В. «Перевозки пассажиров городским транспортом» - Москва ИКЦ «Академкнига», 2006г.
- 3.Таранов А.Т. Перевозок пассажиров автомобильным транспортом. Москва издательство «Транспорт» 1972г.
- 4.Статистический ежегодник города Душанбе за 2009 год г. Душанбе 2010г. -113 стр.
- 5.Социально-экономическое положение Республики Таджикистан январь декабрь 2010 год Агентство по статистике при Президенте Республики Таджикистан, 286 стр.
- 6.Самойлов Д.С. Городской транспорт. Москва, Стройиздат, 1983г. - 384 стр.
- 7.Ефимов И.С., Кобозев В.М., Юдин В.А. Теория городских пассажирских перевозок. Москва, Высшая школа, 1980г. - 535 стр.
8. Пассажирские автомобильные перевозки. Под редакцией Гудкова В.А. Москва Горячая линия – Телеком, 2006г. – 448 стр.
9. Теория городских пассажирских перевозок М.: 1980, - 473 стр.

**А.С. Фохаков, Б.Т. Камолитдинов, А.С. Сайдалиев**

**АСОСҲОИ НАЗАРИЯВИИ ТАШАККУЛӢБӢ ВА РУШДИ ЗАХИРАҲОИ  
ПОТЕНСИАЛИ БОЗОРИ ХИЗМАТРАСОНИИ НАҚЛИӢТӢ ДАР ШАҲРИ  
ДУШАНБЕ**

Дар мақолаи мазкур ташаккулёбӣ ва рушди захираҳои потенциали бозори хизматрасониҳои нақлиётӣ мусофирбар дар шаҳри Душанбе мавриди таҳлил қарор дода шудааст. Оиди муқамалнамоеи раванди хизматрасониҳои нақлиёти мусофирбар ба аҳолии шаҳри Душанбе, таҳлил ва чорабинӣ пешниҳод карда шудааст.

**Вожаҳои калидӣ:** нақлиёти мусофирбари шаҳрӣ, шабакаи роҳ, хатсайри шаҳрӣ, интиқоли мусофирон, беҳатарии интиқоли мусофирон.

**A.S. Fohakov, B.T. Kamolitdinov, A.S. Saidaliev**

**THEORETICAL BASES OF FORMATION AND DEVELOPMENT OF  
RESOURCE CAPACITY OF THE MARKET OF TRANSPORT SERVICES OF THE  
CITY OF DUSHANBE**

In article is considered theoretical bases of formation and development of resource capacity of the market of transport services of the city of Dushanbe. Analyzed and also is offered actions for improvement of process of transport service of the population in services of passenger transport of the city of Dushanbe.

**Keywords:** urban passenger transport, road network, urban routes, passenger transport, passenger transport safety.

**Сведения об авторах**

**Фохаков Абдурауф Сайдалиевич** – 1968 г.р., окончил [1994г.] Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, к.э.н., доцент, заместитель декана по науке и договорным студентам факультета «Управление и транспортное строительство» ТТУ им. акад. М.С. Осими, автор более 60 научных и методических работ, область научных интересов – организация перевозок и управление на автомобильном транспорте, экономика на транспорте, контактная информация: тел. 919 58 42 38, E-mail: [fohakov68@mail.ru](mailto:fohakov68@mail.ru)

**Камолитдинов Бахтиёр Тошпулодович** – 1974 г.р., окончил [1996г.] Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, старший преподаватель кафедры «Экономика и управление на транспорте» ТТУ им. акад. М.С. Осими, автор более 18 научных и методических работ, область научных интересов – строительство автомобильных дорог, контактная информация: тел. 988 21 33 44

**Сайдалиев Абдушокир Сайдалиевич** – 1993 г.р., окончил [2015г.] Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, область научных интересов – организация перевозок и управление на автомобильном и городском транспорте, контактная информация: тел. 919 07 07 37

С.В. Репин, О.К. Бобобеков, Д.А. Лутов

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАРКА ТРАНСПОРТНО – ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

*Задачи повышения эффективности парка транспортно – технологических машин, выявление главной цели и учет второстепенных, которые могут выступать как ограничения в модели оптимизации парка машин. Влияние структуры парка на главную цель функционирования системы, а именно, получение прибыли.*

**Ключевые слова:** транспортно-технологические машины, эксплуатация, формирование, эффективность, оптимизация, срок службы.

*Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда [РГНФ] в рамках научно-исследовательского проекта «Разработка методики формирования структурных элементов транспортной системы по экономическим и надежностным критериям [на примере парков транспортно-технологических машин]», проект № 15-02-00512.*

На кафедре наземных транспортно-технологических машин [в строительстве] Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета [СПбГАСУ] около сорока лет развивается научное направление по совершенствованию эксплуатации средств механизации. В данной публикации кратко изложены некоторые положения методики управления эффективностью использования транспортно-технологических машин.

### Предметная область и задачи

Эффективность рассматривается как степень соответствия реального результата операции желаемому [1]. Теория эффективности систем – одно из прогрессивных, продолжающих развиваться научных направлений.

Обычно под «*эффективностью системы*» понимают главную, основную характеристику качества, полезности системы. При этом эффективность выступает как самая общая, полная, основная характеристика системы, которая качественно или количественно определяет ее способность выполнять свою основную функцию, способствующую достижению главной цели ее применения или функционирования. В соответствии с основной целью функционирования систем различают *экономическую, техническую, оперативно-тактическую, социальную* и другие виды эффективности систем. Причем в одной системе возможно различное сочетание целей.

### Задачи повышения эффективности

Поэтому первой задачей повышения эффективности [задача 1 -  $Z_1$ ] является выявление главной цели и степени учета второстепенных, которые могут выступать как ограничения в модели оптимизации.

Место, которое занимает данная система, как самостоятельная функциональная единица, среди других аналогичных систем определяется уровнем ее эффективности

$\mathcal{E}_c$ . И в зависимости от того места, на которое претендует данная система, будет зависеть стратегия и тактика деятельности в направлении повышения эффективности. Причем, если  $\mathcal{E}_c$  превышает среднюю эффективность  $\mathcal{E}_c^{cp}$  в данной сфере деятельности, имеет место иерархический подъем данной системы среди других. В противном случае происходит падение рейтинга системы. И можно предположить, что есть некоторое критическое значение эффективности  $\mathcal{E}_c^{kp}$ , при котором станет невозможным само существование системы.

Отсюда вытекает вторая задача повышения эффективности [З<sub>2</sub>], а именно, оценка эффективности функционирования исследуемой системы и аналогичных других в данной сфере. Выявление значений  $\mathcal{E}_c^{cp}$  и  $\mathcal{E}_c^{kp}$ , обоснование собственных амбиций на занятие определенного места в иерархии аналогичных систем.

Эффективность системы определяется эффективностью отдельных составляющих, которые в свою очередь зависят от эффективности входящих в них элементов и т.д. Тогда третьей задачей повышения эффективности [З<sub>3</sub>] является анализ влияния отдельных составляющих системы на ее эффективность, выявление «слабых звеньев» и величины эффекта от вложения ресурсов в те или иные элементы системы. Т.к. система может иметь различную структуру, то следует исследовать влияние структуры на эффективность, и оптимизировать систему по структурному параметру [1].

Численная оценка эффективности системы возможна при наличии показателей, отражающих различные стороны ее функционирования. Поэтому в качестве четвертой задачи повышения эффективности [З<sub>4</sub>] выступает выбор оценочных показателей, как для характеристики главной цели функционирования системы, так и для отдельных ее составляющих.

### **Прибыль как критерий эксплуатационной эффективности**

Множество теоретических исследований периода планового ведения хозяйственной деятельности основывало экономические модели оптимизации на минимуме удельных приведенных затрат. При фиксированных ценах на продукцию и услуги такой подход был целесообразен.

Итак, решена первая задача повышения эффективности – найдена главная цель функционирования системы, а именно, получение прибыли.

Реализация итоговой прибыли от работы системы в виде функции времени определяется выражением:

$$\Pi(t) = D(t) - Z(t) - Y(t) \geq \Pi_{\min} \quad [1]$$

где:  $D[t]$ ,  $Z[t]$  – соответственно накопленные доходы и расходы от производственной деятельности за расчетный период;  $Y[t]$  – величина ущерба, вызванная срывом нормального хода производственного процесса;  $\Pi_{\min}$  – минимально допустимая норма прибыли;  $t$  – средний возраст эксплуатируемого оборудования.

Временной ресурс  $t$  можно определить исходя из максимума извлекаемой прибыли за весь эксплуатационный цикл путем дифференцирования [1] и приравнивания результата нулю  $d\Pi[t]/dt = 0$ .

Хотя модель [1] представлена в детерминированном виде, в действительности неопределённость условий эксплуатации обуславливает статистический характер ее составляющих. Исследуя влияние производственных факторов на эти составляющие можно определить дальнейшие задачи повышения эффективности системы.

Для начала конкретизируем систему. Для нашего случая это эксплуатационная база [ЭБ] транспортно – технологических машин.

Основной доход ЭБ получают за счет оказания услуг по предоставлению технологических машин и оборудования для дорожных работ различным организациям. Величина выручки определяется суммой произведения оплачиваемой наработки  $T_i[t]$  каждой машины за расчетный период на цену машино-часа  $C_{им-ч}$ :

$$D(t) = \sum T_i(t) \cdot C_{им-ч}. \quad [2]$$

В случае если ЭБ сама подряжается на производство транспортно – технологических работ, ее доход будет связан с производительностью машины  $Q_i[t]$ , ценой единицы продукции  $c_i$  и наработкой  $T_i[t]$ :

$$D(t) = \sum Q_i(t) \cdot c_i \cdot T_i(t) \cdot \kappa_{iu}, \quad [3]$$

где  $\kappa_{iu}$  – коэффициент использования потенциала машины [рабочего времени, мощности, грузоподъемности и т.п.].

Затраты имеют весьма сложную структуру. В упрощенном виде состав затрат, приходящихся на  $i$ -тую машину, можно представить выражением:

$$Z(t) = \sum Z_i(t) = \sum \left\{ \left[ A_i(t) + 3n_i + Z_{iЭБ} + Z_{iOm} + H_i + Z_{np} \right] + \left[ Z_{iГСМ}(t) + Z_{iТОР}(t) \right] \right\}, \quad [4]$$

где  $A_i(t)$  – амортизационные отчисления;  $3n_i$  – зарплата машинистов;  $Z_{iЭБ}$  – затраты на содержание ЭБ;  $Z_{iOm}$  – отчисления в вышестоящую организацию, учредителям и т.п.;  $H_i$  – налоги;  $Z_{np}$  – прочие отчисления [на страховки, банковские проценты по кредитам, лизинговые платежи, разрешения, техосмотры и пр.];  $Z_{iГСМ}(t)$  – затраты на горюче-смазочные материалы и рабочие жидкости;  $Z_{iТОР}(t)$  – затраты на технические обслуживания и ремонты, в том числе на запчасти и быстроизнашивающиеся части [БИЧ].

Первое слагаемое выражения [5] в квадратных скобках экономисты рассматривают как условно-постоянные затраты  $Z_{пост}(t)$ , не зависящие от количества выпущенной продукции [отработанных машино-часов] за расчетный период [но это не значит, что  $Z_{пост}(t)$  не зависят от среднего возраста парка машин. Второе слагаемое в квадратных скобках – переменные затраты  $Z_{пер}(t)$ , возрастающие пропорционально объему продукции.

Ущерб представляет собой сопутствующие потери, сопровождающие простои машин из-за отказов. Если отказ возникает вследствие плановых технических воздействий, то ущерб, как правило, не возникает, т.к. система заранее подготавливается к простоям части оборудования. Внезапные же отказы сопровождаются простоями не только отказавшей машины, но и ресурсов, технологически связанных с данной машиной. Последствием отказов может быть также снижение качества продукции, ущерб в социальной, экологической и др. сферах. Любые проявления ущерба обычно можно оценить экономически, причем величина ущерба пропорциональна времени простоя  $T_{inp}$  оборудования:

$$Y(t) = \sum V_i(t) = \sum y_i \cdot T_{inp}(t), \quad [5]$$

где  $y_i$  – величина ущерба в единицу времени. В общем случае  $y_i$  может быть функцией  $T_{inp}$ .

Составляющие выражения [1] являются функцией возраста  $t$  машины, т.к. по мере старения машины уменьшается техническая производительность  $Q_i(t)$  и наработка  $T_i[t]$  за расчетный период, увеличивается время простоя  $T_{inp}(t)$  в ремонтах. Следовательно происходит падение дохода  $D(t)$ , возрастание затрат  $Z(t)$  и ущерба  $Y(t)$ . Постепенно снижается прибыль  $\Pi(t)$  до значения  $\Pi_{\min}$ , ниже которого невозможно существование системы по экономическим причинам. Иными словами эффективность системы становится нулевой.

Путем изучения структуры составляющих модели [2] можно определить основные задачи повышения эффективности использования транспортно-технологических машин [2,3].

#### **Обоснование основных задач повышения эффективности использования транспортно-технологических машин**

Итак, согласно [1] главным источником прибыли от использования транспортно-технологических машин является доход, определяемый наработкой  $\sum T_i(t)$  парка машин и ценой машино-часа  $C_{им-ч}$  [формула [2]]. Нарботка за расчетный период, как техническая характеристика, снижается с возрастом машины по определенному закону. Для осуществления возможности оптимизации возрастных характеристик парка машин требуется определить в первую очередь этот закон изменения наработки с возрастом машины [35]. Нарботка за расчетный период, оплачиваемая заказчиком или используемая для выпуска продукции [формула [3]], характеризует с одной стороны спрос на данную технику, а с другой – работу коммерческой службы. Поэтому для успешного функционирования системы требуется исследование рыночной потребности в использовании машин [36] определенного вида, совершенствование работы коммерческой службы [37], формирование парка техники из машин, пользующихся спросом [38a].

Интенсивность снижения наработки с возрастом машины зависит как от качества самой техники, так и от качества работы системы поддержания ее работоспособности. Отсюда возникает задача формирования парка машин по качественному признаку [З<sub>8б</sub>], а также оптимизации системы жизнеобеспечения [З<sub>9</sub>] машины.

Цена машино-часа  $Ц_{им-ч}$  является производной величиной от соотношения спроса и предложения на рынке услуг транспортно – технологической техники с одной стороны и определяется себестоимостью содержания и эксплуатации машины с другой стороны. Т.е. себестоимостью машино-часа  $C_{им-ч}$ , значение которой отражается формулой [4], если за расчетный период принять один час работы техники. Таким образом, величина прибыли за машино-час зависит от разности  $(Ц_{им-ч} - C_{им-ч})$  и может быть увеличена и путем повышения  $Ц_{им-ч}$  и снижения  $C_{им-ч}$ . Повышение  $Ц_{им-ч}$  возможно при условии уникальности услуги – это может быть одним из направлений в формировании парка машин [З<sub>8в</sub>]. Снижение  $C_{им-ч}$  согласно формуле [5] возможно путем сокращения следующих затрат: переменной части затрат за счет омоложения парка машин [З<sub>8г</sub>]; затрат на технические обслуживания и ремонты  $Z_{ТОР}(t)$  вследствие совершенствования системы технической эксплуатации [З<sub>10</sub>]; затрат  $Z_{ЭБ}$  на содержание ЭБ за счет рационального использования ресурсов [З<sub>11</sub>] и реализации новых коммерческих проектов, используя возможности ЭБ [З<sub>12</sub>]; амортизационных отчислений  $A_i(t)$  и налогов вследствие совершенствования амортизационной политики [З<sub>13</sub>].

Для омоложения парка машин также потребуется разработка коммерческих проектов для привлечения дополнительных финансовых ресурсов [З<sub>14</sub>].

Снижение ущерба от простоев техники возможно главным образом за счет сокращения времени простоев  $T_{инп}(t)$ . Большинство назначенных задач как раз нацелено на решение этой проблемы. Кроме того, для уменьшения  $T_{инп}(t)$  следует разработать систему резервирования [З<sub>15</sub>], как ремонтного для быстрого восстановления машины, так и страхового для временного замещения отказавшей машины на исправную [4,5, 6].

### **Выводы**

Для обеспечения эффективности эксплуатации парка машин необходимо действовать по нескольким направлениям:

- оптимизировать состав парка машин путем сокращения количества простаивающих машин и приобретения техники, пользующейся повышенным спросом;
- улучшить работу службы технической эксплуатации для сокращения простоев по техническим причинам;
- обеспечить более полную загрузку техники, приобретая многоцелевые машины для выполнения широкого спектра задач;

- организовать работу по подготовке и повышению квалификации специалистов эксплуатирующих указанные машины, для ознакомления их с передовыми технологиями работ.

### Литература

1. Репин, С.В. Методология совершенствования эксплуатации транспортно-технологических машин. Монография. - СПб.: СПбГАСУ. - 2005. - 172 с.
2. Кузнецов Е. С. Управление технической эксплуатацией автомобилей. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1990. - 272 с.
3. Прудовский Б.Д., Ухарский В.Б. Управление технической эксплуатацией автомобилей по нормативным показателям. - М.: Транспорт, 1990. - 240 с.
4. Sergey Repin, Sergey Evtjukov. Renewal Methods of Construction Machinery According to Technical and Economic Indicators [Методика формирования парка транспортно-технологических машин по технико-экономическим показателям]. - Applied Mechanics and Materials. [10.4028/www.scientific.net/AMM.725-726.990] Vols. 725-726 [2015] 990-995.
5. Репин, С.В. Разработка моделей расчета экономически обоснованных сроков службы транспортно-технологических машин / Репин С.В., Зызыкин А.В., Кротова Н.Н. // Вестник гражданских инженеров, 2015, 5[52]. - СПб.: СПбГАСУ. - С. 231-236.
6. Бобобеков О. К. Факторы, влияющие на производительность дорожно-строительных и коммунальных машин. // Вестник гражданских инженеров: научно-технический журн. – 2015. - №6[53]. 180-184 с.
- 7.

**С.В. Репин, О.К. Бобобеков, Д.А. Лутов**

### ТАЪМИНИ САМАРАНОКИИ ПАРКИ МОШИНҲОИ НАҚЛИЁТИЮ-ТЕХНОЛОҒӢ

Мақсад баланд бардоштани самаранокии парки мошинҳои нақлиётию-технологӣ, муайян намудани вазифаҳои асосӣ ва самтҳои ҳисоби миёна, ки метавонанд ҳамчун маҳдудиятҳои ба намунаи муносиб кардани парк амал мекунад. Мақсади асоси фаъолияти низоми ба таъсири сохтори парк, аз ҷумла, барои ғоида ба даст овардан.

**Калимаҳои калидӣ:** мошинҳои нақлиётию-технологӣ, истифодабарӣ, ташаккул, самаранокӣ, муносиб кардан, муҳлати хизат.

**S.V.Repin, O.K.Bobobekov, D.A.Lutov**

### ENSURE EFFECTIVE OPERATION OF TRANSPORTATION - TECHNOLOGICAL MACHINERY

The problem of increasing the efficiency of Park transportation and technological machines, identify the main objectives and accounting minor, which can act as constraints in

the optimization model fleet. The influence of Park structure on the main purpose of the functioning of the system, namely profit.

#### Сведения об авторах

**Репин Сергей Васильевич**, д-р техн. наук, проф., Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет Email: [repinserge@mail.ru](mailto:repinserge@mail.ru)

**Лутов Денис Александрович**, аспирант, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет Email: [deniss777@list.ru](mailto:deniss777@list.ru)

**Бобобеков Орифджон Кобирович**, аспирант, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет Email: [orifjon-1986@mail.ru](mailto:orifjon-1986@mail.ru)

**М.А. Сулейманова, Ф.Ю. Саидов**

#### **ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА КОЛЕБАНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ОТ ВЫСОТЫ ЗДАНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК**

*Статье произведен анализ напряженно – деформированного состояния системы «основание – фундамент - здание» с учетом сейсмического воздействия для высотных зданий. Установлена что характер колебаний высотных зданий зависит от их высоты, жесткости, вида основания, степени загруженности и количество этажей.*

**Ключевые слова:** Сейсмические воздействия, напряженно – деформированное состояние, амплитуда колебаний, перемещения, моделирование, грунтовый массив, деформации конструкций, жесткость.

В последнее время в республике Таджикистан широкое развитие получило высотное строительство. Известно, что территория республики расположена в зоне сейсмических воздействий. Возведение зданий и сооружений повышенной этажности в условиях воздействия сейсмических усилий может вызвать в конструкциях значительные деформации вследствие их колебаний, характер которых зависит в большой степени от высоты и размеров здания в плане, жесткости, и также грунтовых условий. В Таджикистане, где около 70% её территории занимают массовые просадочные грунты эта проблема требует серьезную подхода при строительстве зданий повышенной этажности. В связи с этим исследование напряженно – деформированного состояния несущих конструкций зданий с различным количеством этажей от воздействия сейсмических нагрузок является весьма актуальной проблемой.

Рассмотрим постановку задачи для системы «основание + фундамент + здание», на примере 30 этажного здания с двумя подземными этажами. Здание монолитное, бескаркасное, фундаменты – буронабивные сваи диаметром 1,2 м и длиной 18 м, объединенные поверху сплошным (плитным) ростверком, толщиной 1,2 м (рис. 1).

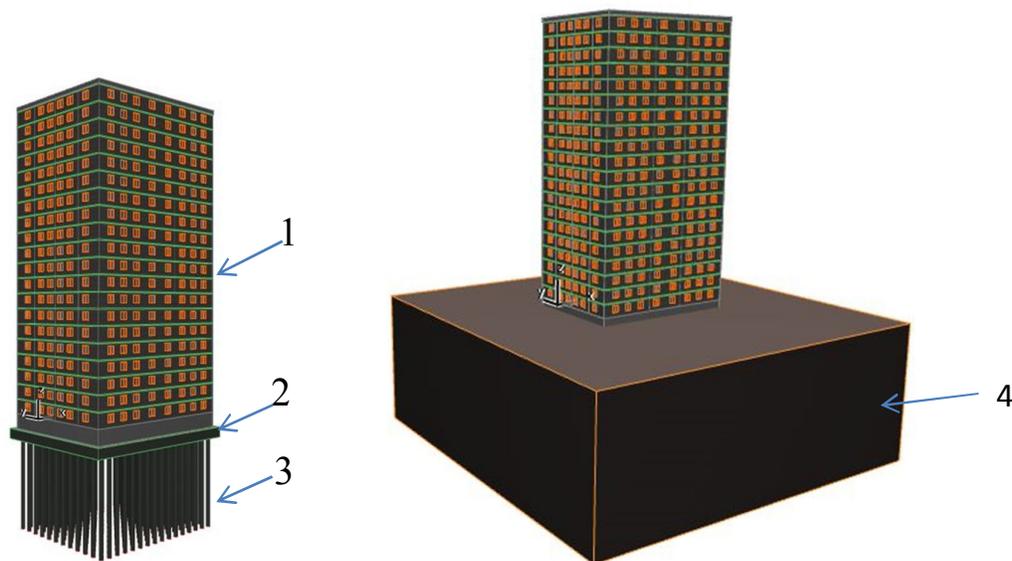


Рис. 1. Расчетная схема системы «основание – фундамент – здание»

1 – надземная часть здания; 2 – ростверк; 3 – буронабивные сваи;  
4 - грунтовый массив

Основание состоит из лессовидных супесей и суглинков и подстилается твердой глиной. Для учета работы грунтового основания использован объемный грунтовый массив размерами 100 x 100 м.

Исследование распределения напряженно-деформированного состояния несущих конструкций под действием сейсмических нагрузок проводилось для системы «основание - фундамент - здание». Расчеты выполнялись методом конечных элементов. В качестве примера использованы результаты исследований, приведенные в работе [1].

Работа грунтового массива описывалась объемными изопараметрически - ми конечными элементами с характеристиками согласно инженерно-геологических исследований. Конструкции плитного ростверка, плит перекрытия и покрытия моделировались пространственными элементами.

Таблица 1

Вид грунта		Характеристики грунтов							
		Природная влажность	Число пластичности	Показатель консистенции	Плотность грунта, г/см <sup>3</sup>	Коэффициент пористости	Модуль деформации, МПа	Удельное сцепление, кПа	Угол внутр. Трения, град
		W	I <sub>p</sub>	I <sub>L</sub>	$\rho$	e	E	c	$\varphi$
1	Супесь полутвердая	12,4	5,6	0,13	1,67	0,78	18	13,4	21,7
2	Глина твердая	15,3	17,4	< 0	1,92	0,61	22	32	18,0

В реальных условиях сейсмические колебания со временем затухают. Такие процессы можно охарактеризовать двумя причинами: внутреннее сопротивление за счет деформирования материала конструкции, узлов и т.д. и внешнее сопротивление вследствие взаимодействия с окружающей средой. Таким образом, для описания процессов деформирования системы под действием динамической нагрузки с учетом затухания для дискретных систем со многими степенями свободы в МКЭ необходимо решать систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$[M] \frac{d^2}{dt^2} \{U\} + [C] \frac{d}{dt} \{U\} + [K] \{U\} = \{Q(t)\}; \quad (1)$$

где:  $[M]$  – матрица масс;  $[C]$  – матрица затухания;  $[K]$  – матрица жесткости;  $\{U\}$  – вектор перемещений;  $\{Q(t)\}$  – вектор нагрузок, как функция времени.

Для описания процессов затухания и формирования матрицы  $[C]$  необходимо использовать зависимости, полученные на базе экспериментальных данных для соответствующих сред. Однако учитывая сложность и высокую стоимость, а в некоторых случаях и невозможность проведения таких экспериментов, были использованы нормативные данные [2].

Во многих случаях из-за большого количества уравнений используют методы, которые предусматривают одинаковые параметры затухания для всех сред, что не соответствует действительности. В данной работе параметры затухания принимались согласно свойствам соответствующих материалов по теории Фойгта и по рекомендациям норм [2].

Параметр затухания находится в линейной зависимости от частоты и определяется в зависимости от выбранной частоты [3]:

$$\mu = \frac{\delta}{\pi \omega_0}; \quad (2)$$

где:  $\omega_0$  – круговая частота (первая собственная частота здания  $\omega_0 = 4,78 \text{ с}^{-1}$ )

Значения параметров определялись по декременту колебаний: для грунтов основания  $\delta_{гр} = 0,6$ , для конструкций зданий  $\delta_k = 0,3$ .

Матрица демпфирования в этом случае будет определяться согласно формуле:

$$[C] = \mu[K]; \quad (3)$$

При численных исследованиях, волны, которые распространяются в исследуемом объеме грунта, могут отражаться от внешнего контура (где ограничены только перемещения или углы поворотов). В данной работе этот эффект учитывается по методу граничного демпфирования, предложенного Лизмером, который обеспечивает поглощение энергии волн, приходящих на границу.

Представленная модель для описания взаимодействия элементов системы «основание – фундамент - здание» позволяет детально исследовать поведение здания при действии сейсмической нагрузки.

По техническим условиям, максимальные относительные перемещения этого здания должны составлять не более 1/500 высоты.

В результате моделирования всего здания получают, амплитуды колебаний конструкций (рис. 2), из которой определяют максимальные отклонения верха здания в плане. По нарастающей амплитуде устанавливается их резонансный характер. колебаний не повторяющая интенсивность нагрузки указывает на их резонансный характер (рис. 2).



Рис. 2. Зависимость амплитуды колебаний от времени для зданий повышенной этажности

Следует отметить, что наиболее загруженными элементами являются стены подвальных этажей, находящиеся на внешнем периметры здания. Возникающие в результате сейсмического воздействия дополнительные напряжения могут иметь различные значения в отдельных зонах. зафиксированы стены подвального этажа, которые находятся на внешнем периметре здания.

Известно, что характер колебаний высотного здания существенно зависит от высоты и жесткости здания. Для исследования влияния сейсмической нагрузки на здание с различным числом этажей необходима произвести расчеты зданий высотой от 10 до 30 этажей через каждые пять этажа, т.е. 15, 20, 25 и 30.

В результате численных исследований получают максимальные перемещения и крен здания, что позволяет определит максимальное отклонение на определенном этаже и уменьшение амплитуды колебаний.

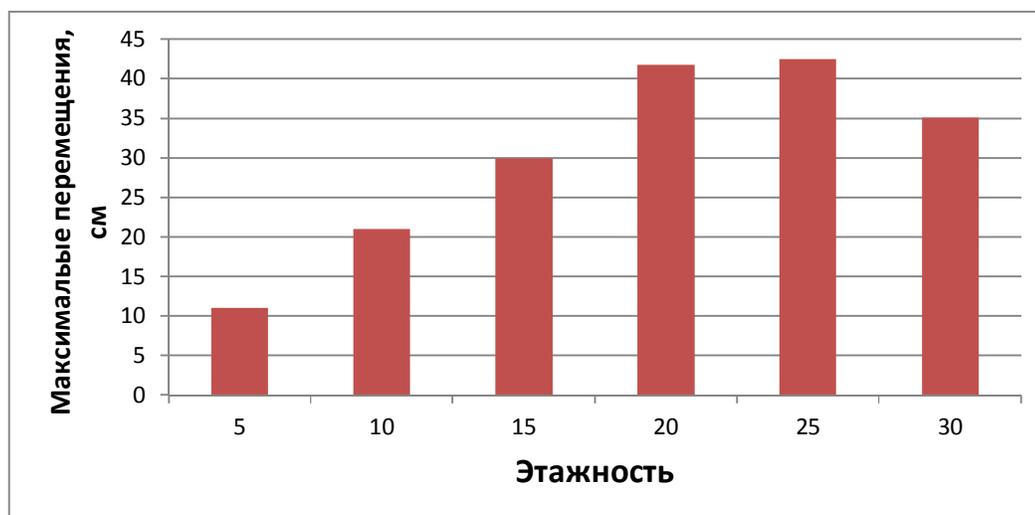


Рис.4. Зависимость максимальных перемещений здания от количество этажей

Анализ изменения перемещений этажей при разной высоте здания показывает, что максимальные отклонения формируются в верхней точке исследуемого здания, когда здание еще не «пригружено» вышележащими этажами. С увеличением высоты и массы здания амплитуда колебаний этажа постепенно спадает.

Таким образом при проектировании зданий и сооружений на воздействие сейсмической нагрузки необходимо проводить комплексные исследования поведения конструкций, в т.ч. на различных этапах строительства. Для оценки сейсмического влияния расчеты следует проводить для системы «основание - фундамент - здание» методами прямого интегрирования во времени, обеспечивающими возможность учета реальных динамических параметров соответствующих сред.

#### Литература:

1. Сахаров В.А., Гетун В.А., Мельник В.А. Анализ влияния сейсмической нагрузки на деформации высотного здания при различном числе этажей. - Статья. 156 – 162с.
2. Бирбраер А.Н., Расчет конструкций на сейсмостойкость, Наука, СПб.: 1998, - 256 с.
3. Смирнов А.Ф., Александров А.В., Лящеников Б.Я., Шапошников Н.Н., Строительная механика, Динамика и устойчивость сооружений, Стройиздат, - М.: 1984, - 416 с.

**М.А. Сулайманова, Ф.Ю. Саидов**

#### ХИСЛАТИ ЛАПШИШҶО ВА ҶОЙИВАЗКУНИҶОИ БИНОҶОИ БАЛАНД АЗ ТАЪСИРИ ҚУВВАҶОИ СЕЙСМИКӢ

Дар мақола ҳолати шиддатнокӣ – деформатсияшавии системаи “асос – таҳкурсеӣ - бино” бо назардошти таъсири қувваҳои сейсмикӣ дар биноҳои баландошёна

тахлил карда шудааст. Муайян карда шуд, ки хислати лаппиши биноҳои баланд аз баландии онҳо, мазбугӣ, намуди асос, дараҷаи боргузорӣ ва шумораи ошёнаҳо вобастагӣ дорад.

**Калимаҳои калидӣ:** таъсироти сейсмикӣ, ҳолати шиддатнокии деформатсияшавӣ, амплитудаи лаппиш, ҷойивазкунӣ, моделсозӣ, минтақаи хокӣ, шаклдигаркунии конструксияҳо, мазбугӣ.

**M.A. Suleymanova, F.U. Saidov**

### **EFFECT OF THE NATURE OF VIBRATIONS AND MOVEMENTS OF HEIGHT OF BUILDINGS UNDER THE INFLUENCE OF SEISMIC LOADS**

Article analyzes the stress - strain state "basis - the foundation - building" system taking into account the seismic These therapeutic effects for high-rise buildings. Established that the nature of vibrations of tall buildings depends on their height, stiffness, type of base, the degree of congestion and the number of floors.

**Keywords:** The seismic effects of stress - strained state, the amplitude of the oscillation movement, simulation, ground array deformation structures, stiffness

#### **Сведения об авторах**

**Сулейманова М.А** – 1953 г.р., закончила (1975г.) ТПИ, к.т.н., доцент кафедры «Подземные сооружения, основания и фундаменты» ТТУ им акад. М.Осими.

**Саидов Ф.Ю** – 1991 г.р. закончил (2016г) БрГУ, ассистент кафедры «Подземные сооружения, основания и фундаменты» ТТУ им акад. М.Осими.

**И.И. Нигматов Ш.З. Усмонов**

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМФОРТНЫХ УСЛОВИЙ В НИХ ПОСРЕДСТВОМ ПАССИВНЫХ И АКТИВНЫХ СИСТЕМ**

*Рассмотрены основные направления по снижению энергетических затрат в жилых зданиях с использованием пассивных и активных мер посредством рекуперации. Показана эффективность рекуператоров различной мощности при удельных затратах энергии в зданиях, при условиях поддержания оптимальных физических параметров внутри зданий.*

**Ключевые слова:** энергетические, пассивные, активные, рекуперация, мощность, оптимальные,

Одним из основных компонентов энергосбережения при проектировании зданий является удельный расход тепловой энергии по зданию в целом в период отопления зимой и в период охлаждения летом.

Расчетная величина удельного расхода тепловой энергии на отопление здания может быть снижена за счет:

- изменения объемно-планировочных решений, обеспечивающих наименьшую площадь наружных ограждений уменьшения числа наружных углов, увеличения ширины зданий, а также использования оптимальной ориентации и рациональной компоновки многосекционных зданий;
- снижения площади световых проемов жилых зданий до минимально необходимой по требованиям естественной освещенности;
- блокирования зданий с обеспечением надежного примыкания соседних зданий;
- устройства тамбурных помещений за входными дверями;
- возможности размещения зданий с широтной или близкой к ней ориентацией продольного фасада;
- использования эффективных теплоизоляционных материалов и рационального расположения их в ограждающих конструкциях, обеспечивающего более высокую теплотехническую однородность и эксплуатационную надежность наружных ограждений, а также повышения степени уплотнения стыков и притворов открывающихся элементов наружных ограждений;
- повышения эффективности авторегулирования систем обеспечения микроклимата, применения эффективных видов отопительных приборов и более рационального их расположения;
- выбора более эффективных систем теплоснабжения;
- размещения отопительных приборов, как правило, под светопроемами и теплоотражательной теплоизоляции между ними и наружной стеной;
- утилизации теплоты удаляемого внутреннего воздуха и поступающей в помещение солнечной радиации;
- использования систем гелиоколлекторов и аккумуляторов, тепловых насосов, рекуператоров.

Для летних условий следует добавлять системы аккумулирования холода, использование кондиционирования воздуха и систем радиационного [лучистого] охлаждения.

При этом теплозащитная оболочка здания должна отвечать следующим требованиям:

- а) приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений;
- б) удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемого значения;
- в) температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений.

Требования тепловой защиты здания будут выполнены при одновременном выполнении требований а), б) и в).

Проектирование тепловой среды в зданиях предусматривает использование следующих принципиально различных средств, к которым относятся:

- пассивные средства регулирования температурно-влажностного режима, определяемые регулирующей функцией самого здания, его пространственной оболочкой и материалами ограждающих конструкций;
- активные средства регулирования температурно-влажностного режима составляющие системы отопления, вентиляции, кондиционирования и включающие обогревательное и охлаждающее оборудование, что, безусловно, обходится дороже пассивных.

В перечень средств пассивного регулирования температурно-влажностного режима включаются элементы, влияющие на тепловые характеристики здания. К ним относятся:

форма здания [отношение площади поверхности к объему], ориентация, оболочка здания с приоритетом цилиндрической или кубической формы, материал ограждений [теплоизоляция должна быть с тепловой инерцией и емкостной], световые проемы [размер, расположение, ориентация, применяемые виды стекол и заполнение камер стеклопакетов, использование штор и жалюзи], использование в наружных ограждениях систем «вентилируемый фасад».

Тепловой баланс в помещении здания может быть обеспечен при соотношении

$$Q_m + Q_{int} + Q_s - Q_{ext} - Q_v = 0, \quad \text{где}$$

$Q_m$  - приток тепла от отопительных приборов,

$Q_{int}$  - внутренний положительный приток тепла, выделяемого телами людей, осветительными и электробытовыми приборами;

$Q_s$  - приток тепла от солнечной радиации;

$Q_{ext}$  - потери тепла через ограждающие конструкции вследствие положительной разности между внутренней и наружной температурами [приток тепла в обратном случае];

$Q_v$  - потери тепла при инфильтрации наружного и эксфильтрации внутреннего воздуха.

Если эта сумма больше нуля, температура воздуха в здании повышается, а если меньше, то температура воздуха в здании понижается.

В модернизированном пятиэтажном жилом доме при обеспечении внутренней температуры зимой +24°C и летом + 28°C по результатам проведенных исследований расход энергии составил на отопление дома 117888 кВт/ч, а на охлаждение – 27028 кВт/ч. А удельный расход энергии в год равен около 72 кВт ч/м<sup>2</sup> год. То есть, здание по классу энергоэффективности относится к неэнергоэффективным.

Как показали проведенные исследования, эффективность рекуператора заметно влияет на удельный расход тепловой энергии  $q_n^y$  в здании [см. табл.1].

Таблица 1.

Эффективность рекуператора [%]	Удельный расход тепловой энергии в модернизированном жилом доме [кВт ч/м <sup>2</sup> год]
95	61
80	63
60	65
40	68
20	71

При использовании рекуператоров рекомендуется в формулу, приведенную в СНиП [МҚС ҚТ] РТ 23-02-2009 «Тепловая защита зданий» по определению удельного расхода тепловой энергии, ввести два поправочных коэффициента «K» и «Y» [определяемым по приведённому графику].

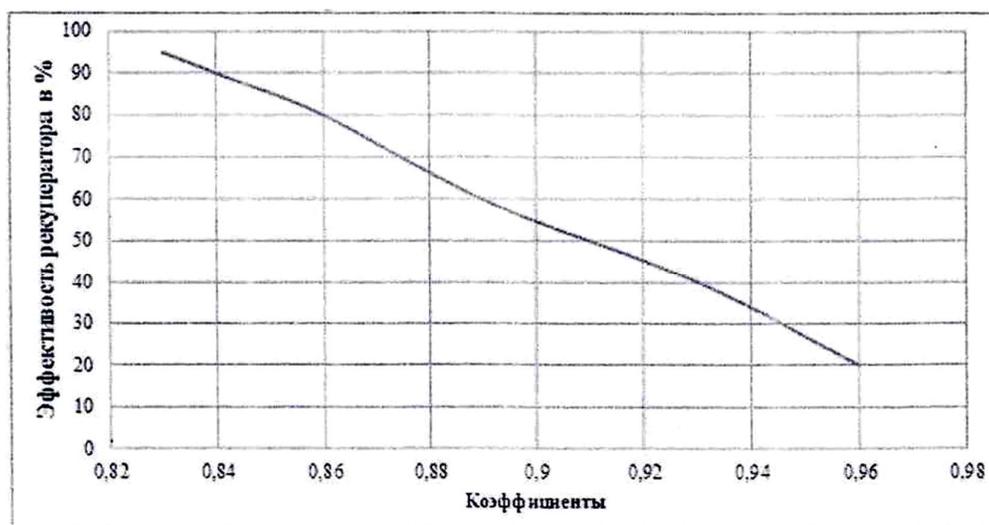


Рисунок Зависимость коэффициента Y от эффективности рекуператора.

$$\frac{Q_h^y}{A_h} K \cdot Y$$

Коэффициент «K» принимается 0,86, а коэффициент «Y» - по полученному графику.

При использовании рекуператора с соответствующей эффективностью [теплообменника поверхностного типа] можно снизить удельный расход энергии в здании до 61 кВт ч/м<sup>2</sup> год. По нормативу энергопотребления такие здания будут отнесены к зданиям с низким энергопотреблением.

### Литература

1. Нигматов И.И. Проектирование зданий в регионах с жарким климатом с учётом энергосбережений, микро климата и экологии. Душанбе. Ирфон. 2007г. 307стр.
2. СНиП [МҚС ҚТ] 23-02-2009 «Тепловая защита зданий».

**И.И. Нигматов Ш.З. Усмонов**

**БАЛАНД БАРДОШТАНИ САМАРАНОКИИ ЭНЕРГЕТИКИИ БИНОҶО  
ВА ТАЪМИНИ ШАРОИТИ БАРОҶАТИИ ОН  
БО СИСТЕМАҶОИ ФАЪОЛ ВА ҒАЙРИ ФАЪОЛ**

Дар мақола равандрои асосӣ оид ба кам кардани харчи энергетикӣ бо истифодаи усулҳои камхаракату серхаракат ва рекуператсия барраси гардидааст. Самаранокии рекуператорҳои гуногун дар вақти сарфи харчи барқӣ дар биноҳо бо назардошти нигоҳдоштани параметрҳои муҳити физикии дохилӣ нишон дода шудааст.

**Калимаҳои калидӣ:** энергетикӣ, ғайрифавол, фавол, барқароркунӣ, тавоноӣ, оптималӣ, физикӣ,

**I.I.Nigmatov, Sh.Z.Usmonov**

**INCREASE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS  
AND ENFORCEMENT COMFORTABLE CONDITIONS IN THEM  
THROUGH PASSIVE AND ACTIVE SYSTEMS**

In this article is considered the basic directions of reducing of energy consumption in the residential buildings by using passive and active measures through recuperation. It's shown the efficiency of the recuperators of different capacities at specific energy consumption in the buildings, under the conditions of maintaining optimum physical parameters inside the buildings.

**Key words:** energetic, passive, active, recuperation, capacity, optimum, physical, parameters, space-planning, heating system, cooling, heat flow rate, specific consumption, thermal insulation, solar radiation, , fences, light opening, structures

**Сведения об авторах**

**Нигматов Икромджон Исмаджанович** – профессор кафедры Архитектуры зданий и сооружений Таджикского технического университета им. академика М.С.Осими. Окончил Куйбышевский инженерно-строительный институт. Защитил кандидатскую диссертацию в Московском архитектурном институте. Имеет более 200 опубликованных научных и научно-методических работ в республиканских и зарубежных изданиях. Сфера научной деятельности – архитектурно-конструктивное проектирование энергоэффективных зданий в регионах с жарким климатом с учетом формирования в зданиях оптимальной среды. Заслуженный работник Республики Таджикистан, член Союза архитекторов РТ, Почетный строитель РТ.

**Усмонов Шухрат Заурович** – и.о.заведующего кафедрой Худжандского политехнического института ТТУ им. акад. М.С. Осими. Окончил Таджикский политехнический институт. По специальности инженер-строитель. Имеет более 20 научных публикаций и ряд учебно-методических работ, изданных в Таджикистане, Российской Федерации и Германии. Сфера научной деятельности – тепловая защита зданий, микроклимат в зданиях и энергосбережение в строительном комплексе.

Д.Н. Низомов, А.А. Ходжибоев, С.С. Зарифов, Б.Д. Фаттоев

## МЕТОД ГРАНИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКИ, СВОДЯЩИХСЯ К УРАВНЕНИЮ ПУАССОНА

На основе дифференциального уравнения статического равновесия струны, которая описывается одномерным уравнением Пуассона, выведено граничное уравнение. На основе дифференциального уравнения равновесия прямоугольной мембраны, которая также описывается уравнением Пуассона, выведено граничное интегральное уравнение, которое при рассмотренных в статье граничных условиях приводится к интегральному уравнению Фредгольма 1-го рода.

**Ключевые слова:** Струна, мембрана, граничное интегральное уравнение, граничные элементы нулевого порядка, численное интегрирование, метод Симпсона, формула Гаусса.

**Статика струны.** Дифференциальное уравнение статического равновесия струны [натянутой нити] описывается одномерным уравнением Пуассона

$$\Delta w = \partial^2 w / \partial x^2 = -q^*(x),$$

где  $w(x)$  – прогиб;  $q^*(x) = q(x)/F$  – распределенная нагрузка;  $F$  – сила натяжения, действующая по направлению касательной к кривой изогнутой нити. Это уравнение имеет фундаментальное решение

$$w^*(x, \xi) = |x - \xi| / 2.$$

Для струны конечной длины  $l$  граничное уравнение, полученное в работе [1]

$$\alpha w(\xi) = \int_S w^* \frac{\partial w}{\partial n} dS - \int_S w \frac{\partial w^*}{\partial n} dS - \int_{\Omega} w^* \Delta w d\Omega, \quad [1]$$

представляется в виде

$$w(\xi) = \left[ w^* \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial w^*}{\partial x} w \right]_0^l + \int_0^l q^*(x) w^*(x, \xi) dx,$$

и если концы струны закреплены, то получим систему уравнений

$$w^*(l, 0 + \varepsilon) \varphi(l) - w^*(0, 0 + \varepsilon) \varphi(0) + \int_0^l q^*(x) w^*(x, 0) dx = 0,$$

$$w^*(l, l - \varepsilon) \varphi(l) - w^*(0, l - \varepsilon) \varphi(0) + \int_0^l q^*(x) w^*(x, l) dx = 0,$$

откуда, при действии равномерно распределенной нагрузки, получаем:

$$\varphi(0) = -\varphi(l) = q^* l / 2;$$

$$w(l/2) = w^*(l, l/2)\varphi(l) - w^*(0, l/2)\varphi(0) + q^* \left( \int_0^{l/2} w^*(x, l/2) dx + \int_{l/2}^l w^*(x, l/2) dx \right) = \frac{ql^2}{8F},$$

что совпадает с точным решением [2]. При численном интегрировании по Симпсону с разбивкой пролета струны на пять отрезков получаем  $w(l/2) = 0,1266ql^2$ , что на 1,28% отличается от точного решения.

**Растянутая мембрана.** Рассмотрим прямоугольную мембрану, дифференциальное уравнение равновесия которой представляется в виде уравнения Пуассона

$$\Delta w = \partial^2 w / \partial x_1^2 + \partial^2 w / \partial x_2^2 = -q^*(x_1, x_2), \quad [2]$$

здесь  $w(x_1, x_2)$  – прогиб мембраны;  $q^*(x_1, x_2) = q(x_1, x_2) / N_0$ ;  $q(x_1, x_2)$  – заданная распределенная нагрузка;  $N_0 = const$  – натяжение на погонную единицу контура мембраны. Предположим, что граница области  $\Omega$ , в которой выполняются условия Ляпунова [3], состоит из двух частей  $S = S_1 + S_2$  и имеют место следующие граничные условия:

$$w(\xi) = \psi(\xi), \quad \xi \in S_1; \quad \partial w / \partial n = \varphi(\xi), \quad \xi \in S_2. \quad [3]$$

Граничное интегральное уравнение для подобной задачи получено в работе [4] и имеет следующий вид:

$$\beta w(\xi) = \int_S w^* \frac{\partial w}{\partial n} dS - \int_S w \frac{\partial w^*}{\partial n} dS - \int_{\Omega} w^* \Delta w d\Omega, \quad [4]$$

Уравнение [4] применительно к дифференциальному уравнению равновесия прямоугольной мембраны [2], с учетом граничных условий [3] представляется в виде

$$\beta(\xi) w(\xi) = \int_S \varphi(x) \ln \frac{1}{r} ds - \int_S \psi(x) \frac{\partial}{\partial n} \left( \ln \frac{1}{r} \right) ds + \int_{\Omega} q^* \ln \frac{1}{r} d\Omega. \quad [5]$$

При решении статической задачи мембраны от действия распределенной нагрузки, когда на всей границе  $S$  прогиб равняется нулю [5], уравнение [5] сводится к граничному уравнению

$$\int_S \varphi(x) \ln \frac{1}{r} ds = - \int_{\Omega} q^* \ln \frac{1}{r} d\Omega. \quad [6]$$

являющимся интегральным уравнением Фредгольма 1-го рода, где  $\varphi(x) = \partial w / \partial n$  – искомая функция. С целью численного решения уравнения [6] используем метод

граничных элементов, для чего разбиваем границу  $S$  рассматриваемой области на  $N$  элементов нулевого порядка, где функция  $\varphi$  будет иметь кусочно-постоянный характер изменения. Также разбивается область  $\Omega$  на  $M$  ячеек, где предполагается, что заданная функция нагрузки  $q^*(x)$  имеет кусочно-постоянный характер изменения. С учетом вышеизложенных предположений аппроксимация уравнения [6] записывается в виде

$$\sum_{j=1}^N \varphi_j \int_{S_j} \ln \frac{1}{r_{ij}} ds_j = - \sum_{m=1}^M q_m \int_{\Omega_m} \ln \frac{1}{r_{im}} d\Omega_m, \quad (i=1,2,\dots,N). \quad [7]$$

Систему уравнений [7] можно представить в матричной форме

$$[A]\{\varphi\} = -[B]\{q\}, \quad [8]$$

где коэффициенты квадратной матрицы  $[A]$  порядка  $N$  и прямоугольной матрицы  $[B]$  порядка  $N \times M$  записываются в виде

$$a_{ij} = \int_{S_j} \ln \frac{1}{r_{ij}} ds_j, \quad b_{im} = \int_{\Omega_m} \ln \frac{1}{r_{im}} d\Omega_m, \quad (m=1,2,\dots,M). \quad [9]$$

Вектор неизвестных состоит из  $N$  элементов  $\{\varphi\} = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_N\}^T$ . Коэффициенты  $a_{ij}$  при  $i \neq j$  можно вычислить численным интегрированием по методу Симпсона или Гаусса. Диагональные элементы  $a_{ii}$  из-за сингулярности интегралов, можно вычислить либо методом Гаусса, либо аналитически. Непосредственным интегрированием первого члена уравнения [9] при  $j = i$  находим

$$a_{ii} = \int_{S_i} \ln \frac{1}{r_{ii}} ds_i = -\Delta s_i \left( \ln \frac{\Delta s_i}{2} - 1 \right),$$

где  $\Delta s_i$  – длина  $i$ -го граничного элемента. Применение методов Симпсона и Гаусса к [9] приводят к следующим формулам соответственно

$$a_{ij} = -\frac{\Delta s_j}{6} (\ln r_{ij}^{(1)} + 4 \ln r_{ij}^{(2)} + \ln r_{ij}^{(3)}), \quad a_{ij} = -\frac{\Delta s_j}{2} \sum_{k=1}^n A_k \ln(r_{ij,k}),$$

где  $r_{ij,k}$  – расстояние от фиксированной точки  $i$  до узла  $k$  в  $j$ -м элементе,  $A_k$  – коэффициенты метода Гаусса [6],  $n$  – число ординат.

Для вычисления элементов матрицы  $[B]$  [8] применим кубатурную формулу Гаусса, которая для прямоугольной ячейки  $\Omega_m$  записывается

$$b_{im} = - \int_{\Omega_m} \ln r_{im} d\Omega_m = -\frac{h_x h_y}{4} \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n A_k A_l \cdot \ln(r_{im})_{kl},$$

где  $h_x, h_y$  – длины сторон прямоугольной ячейки.

Таким образом, сформировав матрицы  $[A]$  и  $[B]$ , из решения [8] находим вектор  $\{\varphi\}$ , а затем, заменяя формулу [1] численным эквивалентом [10], определим прогибы в различных точках внутренней области  $\Omega$

$$2\pi w(\xi) = -\sum_{j=1}^N \varphi_j \int_{S_j} \ln r_{\xi_j} ds_j - \sum_{m=1}^M q_m \int_{\Omega_m} \ln r_{\xi_m} d\Omega_m. \quad [10]$$

В [10] интегралы вычисляются численными методами.

На основе вышеизложенного алгоритма разработана программа расчета прямоугольной мембраны на действие распределенной нагрузки. Получены результаты расчета квадратной мембраны с безразмерной длиной стороны 1 при действии равномерно распределенной нагрузки  $q^* = 1$ . В таблице приведены безразмерные значения  $\bar{w}$  и  $\bar{\varphi}$  соответственно в центре и середине края квадратной мембраны при различных разбиениях четверти границы. Коэффициенты  $a_{ij}$  вычислены методом Симпсона, а поверхностные интегралы методом Гаусса при  $n = 1$ . Как следует из полученных результатов, имеет место сходимость и результаты близки к результатам аналитического решения [2].

Таблица

Прогиб в центре и угол поворота в середине  
края квадратной мембраны

Прогиб и угол поворота	Значения $N$		
	8	16	32
$\bar{w}_0$	0,07342	0,07365	0,07366
$\bar{\varphi}_1$	-0,3329	-0,3366	-0,3374

Для сравнения заметим, что согласно аналитическому решению [2] с учетом 4 членов ряда, прогиб в центре и угол поворота в середине края квадратной мембраны длиной  $l$  соответственно равняются:

$$w_0 = 0,07219 ql^2 / N_0, \quad \varphi_1 = -0,2828 ql / N_0.$$

Точный результат для безразмерного прогиба в центре квадратной мембраны, полученный в работе [7], составляет  $\bar{w}_0 = 0,07367$ . Сравнение показывает, что имеет место сходимость полученных результатов и прогиб при  $N = 16$  практически совпадает с точным решением.

**Численное решение граничного уравнения статической задачи мембраны при линейной аппроксимации граничных параметров.**

Предполагается, что в пределах граничных элементов функции  $\varphi$  и  $\psi$  изменяются по линейному закону. Тогда граничное интегральное уравнение [5] можно представить в виде

$$\beta_i \psi_i = - \sum_{j=1}^N \int_{S_j} \varphi_j \ln r_{ij} ds_j + \sum_{j=1}^N \int_{S_j} \psi_j \frac{\cos \gamma_{ij}}{r_{ij}} ds_j - \sum_{m=1}^M \int_{\Omega_m} q_m \ln r_{im} d\Omega_m, \quad [11]$$

где  $i$  – фиксированный узел границы,  $j, m$  – переменные точки соответственно на границе  $S$  и области  $\Omega$ . Будем считать границу области кусочно-гладкой и состоящей из прямолинейных отрезков.

Рассмотрим произвольный прямолинейный граничный элемент  $e_j$ , где функции  $\psi(s)$ ,  $\varphi(s)$  изменяются по линейному закону [рисунок]:

$$\psi_j = N_1 \psi_{1j} + N_2 \psi_{2j}, \quad \varphi_j = N_1 \varphi_1 + N_2 \varphi_2 \quad [12]$$

где  $\psi_{1j}$ ,  $\psi_{2j}$  – узловые значения функции  $\psi(s)$ ,  $N_1 = (S_j - s) / S_j$ ,  $N_2 = s / S_j$ .

Сумма интегралов первого члена в правой части [11] с учетом [12] равняется

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N \int_{S_j} \varphi_j \ln r_{ij} ds_j &= \int_{S_1} (N_1 \varphi_{11} + N_2 \varphi_{21}) \ln r_{i1} ds_1 + \\ &+ \int_{S_2} (N_1 \varphi_{12} + N_2 \varphi_{22}) \ln r_{i2} ds_2 + \dots + \int_{S_N} (N_1 \varphi_{1N} + N_2 \varphi_{2N}) \ln r_{iN} ds_N, \end{aligned}$$

откуда при непрерывном изменении  $\varphi(s)$ , т.е. когда  $\varphi_{1N} = \varphi_{11} = \varphi_1$ ,  $\varphi_{21} = \varphi_{12} = \varphi_2$ ,  $\varphi_{13} = \varphi_{22} = \varphi_3$ ,  $\varphi_{1N} = \varphi_{2N-1} = \varphi_N$ , получаем

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N \int_{S_j} \varphi_j \ln r_{ij} ds_j &= \left( \int_{S_N} N_2 \ln r_{iN} ds_N + \int_{S_1} N_1 \ln r_{i1} ds_1 \right) \varphi_1 + \left( \int_{S_1} N_2 \ln r_{i1} ds_1 + \int_{S_2} N_1 \ln r_{i2} ds_2 \right) \varphi_2 + \dots \\ &\dots + \left( \int_{S_{N-1}} N_2 \ln r_{iN} ds_{N-1} + \int_{S_N} N_1 \ln r_{iN} ds_N \right) \varphi_N, \quad (i=1, 2, \dots, N). \end{aligned}$$

Проведя аналогичную замену для второго члена в [11], в результате получаем следующую систему уравнений

$$[D_{ij}] \{\psi\} - [C_{ij}] \{\varphi\} = [B_{im}] \{q_m\} \quad [13]$$

где коэффициенты матриц  $[D]$ ,  $[C]$ ,  $[B]$  соответственно равны:

$$d_{ij} = \int_{S_{j-1}} N_2 \frac{\cos \gamma_{ij-1}}{r_{ij-1}} ds_{j-1} + \int_{S_j} N_1 \frac{\cos \gamma_{ij}}{r_{ij}} ds_j - \delta_{ij} \beta_i,$$

$$c_{ij} = \int_{S_{j-1}} N_2 \ln r_{ij-1} ds_{j-1} + \int_{S_j} N_1 \ln r_{ij} ds_j, \quad b_{im} = \int_{\Omega_m} \ln r_{im} d\Omega_m.$$

$\delta_{ij}$  – символ Кронекера.

Главные коэффициенты  $d_{ii}$  и  $c_{ii}$  вычисляем непосредственным интегрированием. В связи с тем, что в прямолинейных элементах [рисунок] угол между радиус- векторами  $r_{ii-1}$ ,  $r_{ii}$  с внешней нормалью  $n$  составляет  $\pi/2$ , то сумма интегралов равняется нулю и  $d_{ii}$  принимает значение, равное  $-\beta_i$ . Коэффициенты  $c_{ii}$  равняются

$$c_{ii} = \int_0^{S_{i-1}} \frac{s}{S_{i-1}} \ln |S_{i-1} - s| ds + \int_0^{S_i} \frac{S_i - s}{S_{i-1}} \ln |s| ds =$$

$$= -\frac{S_{i-1}}{2} (1,5 - \ln S_{i-1}) - \frac{S_i}{2} (1,5 - \ln S_i).$$

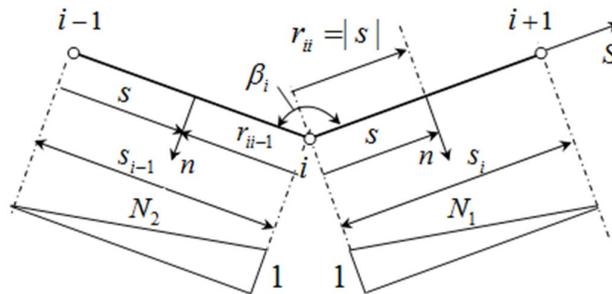


Рисунок. Базисные линейные функции.

Коэффициенты  $d_{ij}$  и  $c_{ij}$  при  $i \neq j$  можно вычислить квадратурными формулами Симпсона или Гаусса.

Систему уравнений [13] можно преобразовать к стандартному виду

$$[A]\{X\} = \{F\},$$

где вектор  $\{X\}$ , согласно граничным условиям [3], состоит из  $\varphi$  и  $\psi$ . Квадратная матрица  $[A]$  порядка  $N$  включает в себя элементы матриц  $[C]$  и  $[D]$ . Часть заданных параметров  $\psi$  и  $\varphi$ , умноженные соответственно на коэффициенты

матриц  $[D]$  и  $[C]$  совместно с элементами вектора  $[b_m]\{q_m\}$ , образуют вектор свободных членов  $\{F\}$ .

Решим статическую задачу прямоугольной мембраны, когда на всей границе области функция  $\psi = 0$ . Тогда система уравнений [13] приобретает следующий вид

$$[C]\{\varphi\} = -[B]\{q\},$$

откуда находим вектор  $\{\varphi\}$ , а затем по формуле [10] вычисляются прогибы мембраны во внутренних точках области.

На основе вышеизложенного алгоритма были получены результаты расчета квадратной мембраны, где для удобства ручного счета принимаем  $a = l/2$ . Следовательно, в безразмерных координатах рассматривается квадратная мембрана  $2 \times 2$ . Нагрузка принята равномерно распределенной по всей поверхности мембраны. Разбивая контур мембраны на 16 граничных элементов первого порядка, а внутреннюю область на 16 ячеек с использованием симметрии и рассмотрев  $1/8$  часть мембраны, в результате получим систему уравнений

$$\begin{bmatrix} 0,4006 & -0,6486 & -0,8406 \\ -0,5708 & -0,3075 & -0,5032 \\ 0,7857 & -1,2520 & -0,0537 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \varphi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0,1912 \\ 0,4688 \\ 1,3057 \end{Bmatrix},$$

откуда находим:

$$\varphi_1 = -0,5098, \varphi_2 = -0,7268, \varphi_3 = 0,0905.$$

Прогиб в центре мембраны, полученный по формуле [10] равняется  $w_0 = 0,2795$ . Для квадратной мембраны  $1 \times 1$ ,  $w_0 = 0,06988$ . Решение этой задачи при конечно-разностной аппроксимации уравнения [2], полученное в работе [7] на сетке  $4 \times 4$  для квадратной мембраны с безразмерной длины стороны 1, составляет  $w_0 = 0,0737$ .

Сравнение показывает, что прогиб центра мембраны при линейной аппроксимации граничных параметров отличается от аналитического решения [ $w_0 = 0,0737$ ] на 5,14%, а при кусочно-постоянной аппроксимации погрешность составляет 7,5%.

### Литература

1. Низомов Д.Н. Метод граничных уравнений в решении статических и динамических задач строительной механики. – М.: АСВ, 2000, 282 с.
2. Карман Т., Био М. Математические методы в инженерном деле. -М.,Л.: ОГИЗ.-1946.- 423 с.
3. Гюнтер Н.М. Теории потенциала и ее приложение к основным задачам математической физики. - М.: Гостехиздат, 1953. - 415 с.

4. Д.Н. Низомов, А.А. Ходжибоев, О.А. Ходжибоев, Б.Д. Фаттоев, С.С. Зарифов, Р.Р. Саидов, Ф.Х. Саидов. Метод граничных уравнений в решении задач строительной механики, сводящихся к уравнению Лапласа. Вестник ТТУ, №2[30], 2015, с.68-73.
5. Низомов Д.Н. Метод граничных элементов в решении задач статики мембраны // Сб. науч. трудов. - Душанбе: ТПИ, 1988. - С. 167-173.
6. Демидович Б.П., Морон И.А. Основы вычислительной математики. - М.: Наука, 1970. - 664 с.
7. Габбасов Р.Ф. О численно-интегральном методе решения краевых задач строительной механики для дифференциальных уравнений в частных производных / В сб.: Исследования по теории сооружений. - М.: Стройиздат, 1976, вып.22. - С.27-34.

**Д.Н. Низомов, А.А. Ходжибоев, С.С. Зарифов, Б.Д. Фаттоев**

**МЕТОДИ МУОДИЛАҲОИ КАНОРӢ ДАР ҲАЛЛИ МАСЪАЛАҲОИ  
МЕХАНИКАИ СОХТМОН, КИ БА МУОДИЛАИ ПУАССОН ОВАРДА  
МЕШАВАД**

Дар асоси муодилаи дифференциалии мувозинати статикӣ тор, ки бо муодилаи якҷинсаи Пуассон нависта мешавад, муодилаи канорӣ бароварда шудааст. Дар асоси муодилаи дифференциалии мембранаи росткунҷа, ки ҳамчунон бо муодилаи Пуассон нависта мешавад муодилаи интегралӣ канорӣ бароварда шудааст, ки дар ҳолати шартҳои дар мақола муоинакардашуда ба намуди муодилаи интегралӣ Фредголми чинси 1-ум оварда мешавад.

**Вожаҳои калидӣ.** Тор, мембрана, муодилаи интегралӣ канорӣ, унсурҳои ҳадди тартиби сифрӣ, интегронии ададӣ, методи Симпсон, формулаи Гаусс.

**D.N. Nizomov, A.A. Hojiboev, S.S. Zarifov, B.D. Fattoev**

**THE METHOD OF BOUNDARY ELEMENTS FOR SOLUTION OF  
STRUCTURAL MECHANICS PROBLEM REDUCE TO THE POISSON EQUATION**

On the basis of equation of static balance of string, derived a boundary equation, which is described by the Poisson one-dimensional equation. On the basis of equation of equilibrium of a rectangular membrane, which is also described by the Poisson equation derived a boundary integral equation, which, is considered in the article, the boundary conditions can be reduced to the Fredholm integral equation 1st kind of.

**Key words.** String, membrane, boundary integral equation, boundary elements of zeroth order, numerical integration, Simpson method, Gauss formula.

### Сведения об авторах

**Низомов Джахонгир Низомович** - Доктор технических наук, профессор, член-корреспондент АН РТ, заведующий лабораторией теории сейсмостойкости и моделирования Института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ. В 1964 г. поступил на строительный факультет Таджикского политехнического института и в 1969 г. окончил факультет ПГС МГСУ МИСИ. Работал на кафедре строительной механики и сейсмостойкости сооружений ТПИ ТТУ [1969-2004], заведовал кафедрой [1992-2004], работал директором Института сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ [2004-2011]. Область научных интересов: строительная механика, теория сейсмостойкости, математическое моделирование, численные методы, механика разрушения. Автор более 150 научных работ, в том числе нескольких монографий и учебных пособий. Читает курсы лекций по динамике и сейсмостойкости сооружений и численным методам студентам, магистрантам и аспирантам Таджикского технического университета.

**Ходжибоев Абдуазиз Абдусатторович** Доктор технических наук, заведующий кафедрой строительной механики и сейсмостойкости сооружений Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими [ТТУ]. В 1974 году окончил Таджикский политехнический институт по специальности ПГС. Автор более 90 научных работ. Область научных интересов-строительная механика, теория сейсмостойкости, численное моделирование.

**Зарифов Сироджиддин Садриддинович**– старший преподаватель кафедры «Строительная механика и сейсмостойкие сооружения» Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими, закончил ТТУ имени академика М.С.Осими в 1994г., контактный тел: [992] 93-580-59-00.

**Фатгоев Баходур Джабборович** – 1975 г.р., окончил [1997] Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, старший преподаватель кафедры «Строительная механика и сейсмостойкие сооружения» Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими, автор более 8 научных работ, область научных интересов- строительная механика, динамика и сейсмостойкость сооружений. Контактный телефон: 935-83-89-91.

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В научно-теоретическом журнале Вестник Таджикского технического университета Серия инженерные исследования («Паёми Донишгоҳи техникии Тоҷикистон Баҳши тадқиқотҳои муҳандисӣ») публикуются научные сообщения по следующим направлениям: энергетика, строительство и архитектура, транспорт, химическая технология и металлургия.

1. Статья, представленная в редколлегию, должна иметь экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати от учреждения, в котором выполнена данная работа, а также рецензию специалиста в данной области науки.
2. Редколлегия принимает статьи, подготовленные в системе Word, тщательно отредактированные и распечатанные в 2-х экземплярах через 1,5 интервала (размер шрифта кегль 14 Times New Roman), на белой бумаге формата А4 (297x210 мм), поля: левое - 30 мм; правое - 20 мм; верхнее - 30 мм; нижнее - 25 мм). Одновременно текст статьи представляется в электронном виде или присылается по электронной почте: [vestnikTTU@mail.ru](mailto:vestnikTTU@mail.ru).
3. Размер статьи не должен превышать 10 страниц компьютерного текста включая текст, иллюстрации (графики, рисунки, диаграммы, фотографии) (не более 4), список литературы (не более 15), тексты резюме на таджикском и английском языках (не более 100 слов). Каждый рисунок должен иметь номер и подпись. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь номер и заголовок. Повторение одних и тех же данных в тексте, таблицах и рисунках не допускается. В тексте необходимо дать ссылки на все приводимые таблицы, рисунки и фотографии. В цифровом тексте десятичные знаки выделяются точкой.
4. В правом углу статьи указывается научный раздел, в котором следует поместить статью. Далее в центре следующей строки - инициалы и фамилия автора, ниже - полное название статьи (шрифт жирный, буквы прописные), краткая (5-7 строк) аннотация (курсив), ключевые слова. Сразу после текста статьи приводится список использованной литературы и указывается название учреждения, в котором выполнялось данное исследование. Затем приводится аннотация на таджикском (редактор Times New Roman Tj), русском и английском языках.
5. Формулы, символы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation (шрифт 12). Нумеруются лишь те формулы, на которые имеются ссылки.
6. Статья завершается сведениями об авторах: ф.и.о. (полностью), ученая степень, ученое звание, место работы (полностью), должность, контактная информация.
7. Цитируемая литература приводится под заголовком «Литература» в конце статьи. Все ссылки даются на языке оригинала и нумеруются. Цитируемая литература должна иметь сквозную нумерацию в порядке упоминания работ в тексте. Ссылки на литературу в тексте должны быть заключены в квадратные скобки. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.
8. Электронная версия опубликованной статьи размещается в сайте ТТУ и в системе Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).
9. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи. В случае отказа в публикации статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.
10. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.